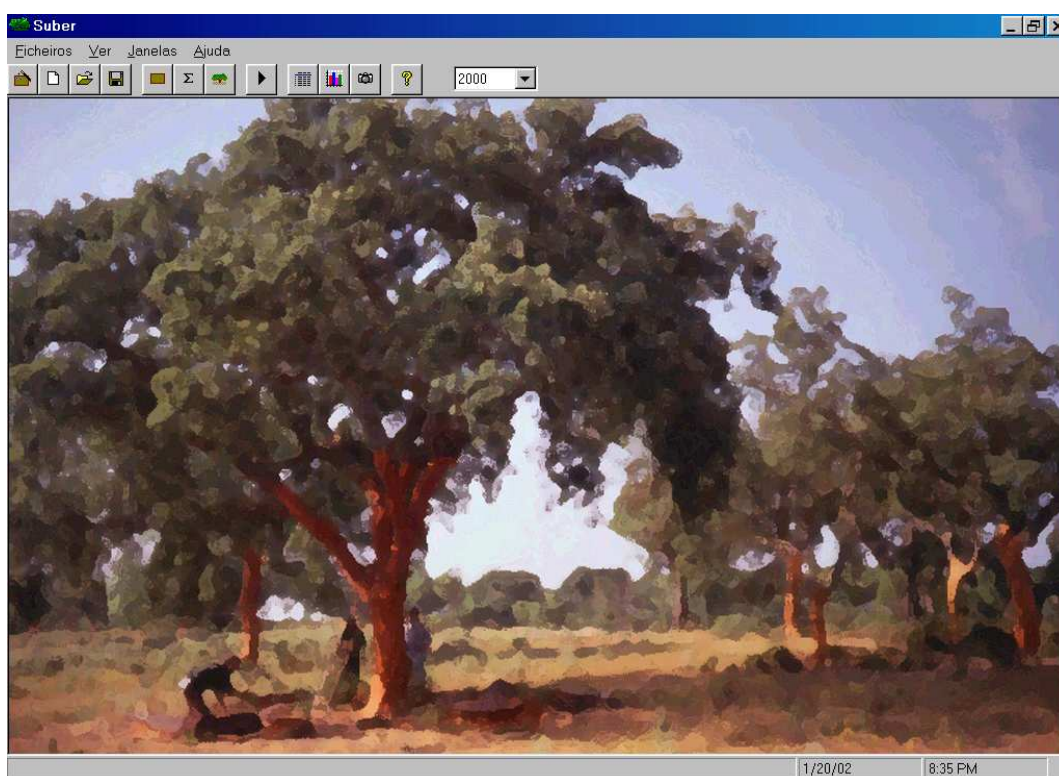


Modelo de crescimento e produção para a gestão do montado de sobro em Portugal

Projecto POCTI/AGR/35172/99

Relatório Final – Relatório de Execução Material (Volume I)



GIMREF

Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais

Relatórios Finais de Projectos, nº RFP-1/2004

Como referenciar este documento:

Tomé, M. 2004. Modelo de crescimento e produção para a gestão do montado de sobro em Portugal. Projecto POCTI/AGR/35172/99. Relatório Final – Relatório de Execução Material (Volume I). Publicações GIMREF RFP 1/2004. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 89 pp.

Índice do Relatório de Execução Material (Volume I)

Tarefa 1 – Coordenação do projecto_____	01
Tarefa 2 – Influência dos factores edafo-climáticos no crescimento das árvores e da cortiça e na qualidade da cortiça_____	04
Tarefa 3 – Simulação da estrutura do povoamento _____	33
Tarefa 4 – Crescimento da árvore individual _____	46
Tarefa 5 – Crescimento e produção de cortiça_____	63
Tarefa 6 – Simulação de práticas culturais_____	73
Referências bibliográficas_____	88

Tarefa 1 – Coordenação do projecto

Responsável: Margarida Tomé

Objectivos:

1.1 Base de dados SUBERDATA

Actualizar a base de dados SUBERDATA com todos os dados anteriores e recolhidos no âmbito do projecto.

1.2 Integração de resultados no novo modelo SUBER

Integrar os resultados obtidos nas diversas tarefas para delinear a estrutura do modelo.

1.3 Divulgação do projecto e seus resultados

Realização de sessões de divulgação, publicação de resultados, apresentação de comunicações a congressos.

Resultados alcançados:

1.1 Base de dados SUBERDATA

O carregamento de todos os dados disponíveis (provenientes deste ou de outros projectos) na base de dados SUBERDATA, com verificação e validação de algumas incongruências e/ou incoerências presentes, mostrou-se bastante mais demorado do que inicialmente previsto. Em projectos cujo objectivo é o desenvolvimento de modelos, como é o caso deste, há sempre uma tendência para minimizar a importância desta tarefa, a qual é, no entanto, essencial. Um modelo não é mais do que uma síntese do conhecimento/informação disponível, pelo que a qualidade dos dados tem um impacto bastante importante na prestação do modelo a desenvolver.

Dado o grande volume de informação disponível optou-se por a organizar em várias bases de dados ACCESS, todas com a mesma estrutura. É ao conjunto destas bases de dados parciais que se deu o nome de SUBERDATA. No ANEXO 1 encontra-se a descrição detalhada da SUBERDATA e na tabela 1 encontra-se uma lista de todos os locais e parcelas em relação aos quais existe informação.

Tabela 1. Lista das bases de dados que fazem parte da SUBERDATA

Código da base	Designação	N. de parcelas	Localização
SUBERDATA-001	Parcelas antigas	21	Todo o país
SUBERDATA-002	Ensaio de desbastes	19	Estremoz, Chamusca, Montargil
SUBERDATA-003	Coef. descortiçamento	2	Chamusca, Coruche
SUBERDATA-004	PAMAF	36	Todo o país
SUBERDATA-005	Contenda	12	Moura
SUBERDATA-006	Cascavel	12	Coruche
SUBERDATA-007	Corkassess	101	Coruche, Estremoz, Alcácer do Sal
SUBERDATA-008	Parcelas novas	6	Estremoz
SUBERDATA-009	Juvenis	18	Moura, Serpa, Alcácer do Sal
SUBERDATA-010	Espirra	51	Vendas Novas
SUBERDATA-011	ACHAR	48	Chamusca
SUBERDATA-012	SUBER-DEMO	161	Coruche, Mora, Alcácer do Sal, Portel, ALGARVE
SUBERDATA-013	Chaminé	6	Mora
SUBERDATA-014	Parcelas grandes	48	Coruche, Palmela

1.2 Integração de resultados no novo modelo SUBER

Os resultados obtidos no âmbito do projecto foram incluídos nos novos modelos SUBER 3 e SUBER 4, o principal resultado deste projecto. A implementação destes modelos em computador encontra-se descrita na Tarefa 8.

1.3 Divulgação do projecto e seus resultados

1. Realizou-se no dia 29 de Janeiro de 2001, no Departamento de Engenharia Florestal, uma reunião de apresentação do projecto. Estiveram presentes representantes de Direcções Regionais de Agricultura, de Associações de Produtores Florestais e de Empresas ligadas ao sector florestal. Na sequência desta sessão foram disponibilizados, por diversos proprietários e/ou Associações, povoamentos para a instalação de novas parcelas. A apresentação "PowerPoint" que foi preparada para esta sessão de divulgação encontra-se no ANEXO 2.

2. Comunicação oral no congresso IUFRO/INIA (Espanha) "Mediterranean silviculture with emphasis on *Quercus suber*, *Pinus pinea* and *Eucalyptus* sp." (15-19 Maio 2000), com resumo publicado: SUBER – a growth and yield model for cork oak stands management (ANEXO 3).
3. Comunicação oral no congresso IUFRO/Universidade de Gottingen "Continuous cover forestry, assessment, analysis, scenarios" (19-21 Setembro 2001): "Using the SUBER model to compare long-term cork yield in *Quercus suber* forests managed under discontinuous and continuous cover forest management systems" (ANEXO 4).
4. Comunicação oral no IV Congresso Florestal Nacional, realizado em Évora (28-30 Novembro 2001), publicada em actas (CD): "Utilização do modelo SUBER como apoio a decisões de gestão de Montados de Sobreiro" (ANEXO 5).
5. Comunicação sob a forma de poster no congresso IEFC/CEF/IUFRO (Lisboa, Portugal) "Incorporating forest growth models into decision support tools for sustainable forest management" (6-8 Junho 2002), com resumo publicado: "SUBER – a model for simulation of cork oak stands development" (ANEXO 6).
6. Comunicação oral no congresso IEFC/CEF/IUFRO (Lisboa, Portugal) "Incorporating forest growth models into decision support tools for sustainable forest management" (6-8 Junho 2002), com resumo publicado: "Using the SUBER model to support management decisions at stand level in *Quercus suber* forests" (ANEXO 7).
7. Comunicação oral no congresso da Sociedade Espanhola de Ciências Florestais: Paulo, J. A., Tomé, M., 9999. (em publicação). Dendrometric variables prediction equations at tree level for juvenile cork oak stage. Actas da 'Reunion del grupo de trabajo sobre Modelización Forestal' de la Sociedad Española de Ciencias Forestales'. 3-5 Maio 2004, Palencia, Espanha (ANEXO 8).
8. Comunicação oral no Congresso IUFRO Modeling forest production. Scientific tools - data needs and sources. Validation and application: Paulo, J. A., Tomé, M., 2004. Modeling growth and cork yield of cork oak trees in juvenile stage. In: Hasenauer, H. & Makela, A. Modeling forest production. Scientific tools - data needs and sources. Validation and application. Proceedings of the International Conference, 19-22 April, Wien, Austria. Department of Forest and Soil Sciences. Boku University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, pp: 313-317 (ANEXO 9).

Tarefa 2. - Influência dos factores edafo-climáticos no crescimento das árvores e da cortiça e na qualidade da cortiça

Responsável: Alberto Azevedo Gomes

Objectivos:

2.1 Selecção de locais de estudo

Seleccionar estações representativas das diferentes combinações solo-clima nas regiões de distribuição do sobreiro.

2.2 Caracterização das estações seleccionadas

Caracterizar o solo e o clima das estações seleccionadas.

2.3 Estudo da influência do solo e do clima no crescimento das árvores

Estudar as inter-relações entre as características do solo e clima e a classe de qualidade, de modo a permitir a definição da qualidade da estação em povoamentos irregulares e de idade desconhecida

2.4 Estudo da influência do clima no crescimento e qualidade da cortiça

Desenvolver metodologia para prever o índice de crescimento da cortiça do povoamento em função de características do solo e do clima.

Resultados alcançados:

2.1 Selecção de locais de estudo

A. Estudo da influência de solo e clima no crescimento das árvores

Decidiu-se adoptar as regiões climaticamente homogéneas definidas por Ribeiro e Tomé (2000) para a selecção de estações com climas distintos, tendo-se optado por concentrar o estudo nas regiões designadas por 3CL, 5VT, 4SL e 7SI (figura 1).

Dentro de cada uma destas regiões foram visitados diversos povoamentos de idade conhecida (de preferência jovens), em locais que se previa corresponderem a diferentes solos através da análise feita às cartas de solos. Foram visitados e avaliados povoamentos de sobreiro de várias idades, num total de cerca de 50, e efectuou-se uma pré-selecção. Trata-se de povoamentos instalados ao longo de diversos períodos, englobando povoamentos de sobreiro instalados nas décadas de 1950 e 1960 pelo Ex-Fundo de

Fomento Florestal, povoamentos instalados no âmbito dos programas de florestação do Banco Mundial e, mais recentemente, no âmbito dos Programas PAF, PDF e Reg. 2080.

Para além de permitir a selecção criteriosa dos povoamentos a serem estudados, o trabalho desenvolvido serviu, naturalmente, para uma avaliação do estado actual dos vários povoamentos visitados, nomeadamente no que respeita a sobrevivência, densidades e estado sanitário.

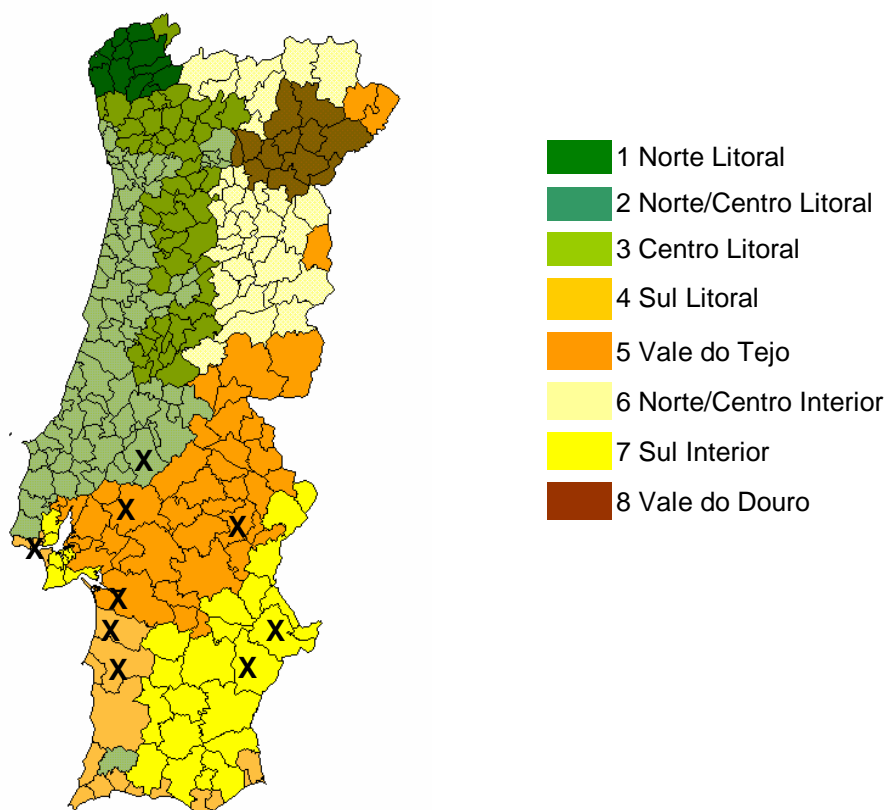


Figura 1. Regiões climáticas nas quais se baseou a selecção de povoamentos para estudo da relação entre o crescimento das árvores e as características do solo e clima.

A partir da pré-selecção de povoamentos procedeu-se a um segundo reconhecimento de campo dos mesmos, com o objectivo de avaliar o seu estado e uniformidade, identificar os tipos de solo dominantes em cada um e a sua variabilidade espacial, de forma a delimitar manchas uniformes quanto ao tipo de povoamento e de solo, para marcação das parcelas de estudo. Seleccionaram-se os povoamentos localizados nas seguintes propriedades:

REGIÃO 3CL – Centro Litoral

Gorjão – Chamusca

Herdade do Casal Velho – Chamusca

Viveiro Florestal do ISA - Lisboa

REGIÃO 5VT – Vale do Tejo

Monte da Perna Seca – Estremoz

Herdade de Pocilgais – Coruche

Herdade de Cascavel – Coruche

Herdade de Rio Frio - Palmela

REGIÃO 4SL – Litoral Alentejano

Monte do Vale da Lande – Santiago do Cacém

Provença – Sines

Herdade do Azinhal – Grândola

REGIÃO 7SI – Alentejo Interior

Monte Salta – Serpa

Herdade Vale dos Mortos – Serpa.

Monte Araújo – Serpa

Não sendo os recursos financeiros suficientes para abrir perfis de solo em todos os locais seleccionados, a amostragem incidiu sobre aqueles que nos pareceram mais contrastantes, quer em termos de Si, quer de características do solo.

B. Estudo da influência do clima no crescimento e propriedades da cortiça

Ainda dentro de cada uma das regiões climaticamente homogéneas, foram seleccionadas parcelas em povoamentos adultos (dentre aqueles que estão incluídos na base de dados SUBERDATA), cobrindo condições contrastantes de clima, onde tenha sido feita a caracterização do crescimento e qualidade da cortiça (caracterização feita durante o

decorrer do projecto ou anteriormente). Estas parcelas serviram de base ao estudo da relação entre o clima e o crescimento e qualidade da cortiça.

Os dados utilizados para este estudo são provenientes de 6 grupos da base de dados SUBERDATA: parcelas antigas, PAMAF, Cascavel, Corkassess, Suber-demo, Parcelas grandes. Seleccionaram-se dados de 3408 árvores localizadas em 26 herdades que, por sua vez, se localizam em 24 concelhos, ou seja, apenas em 2 concelhos foi amostrada mais do que uma herdade. A tabela 2 mostra quais os concelhos incluídos neste estudo.

Tabela 2. Concelhos representados na amostra utilizada para o estudo da influência do clima no crescimento e propriedades da cortiça.

Região climática	Concelho	Número de		
		Herdades	Parcelas	Árvores
3CL	Abrantes	1	1	20
	Chamusca	2	26	439
4SL	Grândola	2	3	40
	Odemira	1	3	20
	Santiago do Cacém	2	3	40
	Sines	1	2	20
5VT	Alcácer do Sal	3	23	443
	Avis	1	2	20
	Benavente	2	3	21
	Coruche	6	41	944
	Estremoz	1	2	13
	Évora	2	4	40
	Idanha-a-Nova	1	2	20
	Montemor-o-Novo	4	7	63
	Mora	3	32	719
	Palmela	1	4	20
	Ponte de Sor	2	3	40
	Portalegre	2	4	40
6NI	Meda	1	2	20
7SI	Moura	1	4	20
	Portel	2	14	247
	São Brás de Alportel	2	2	21
	Silves	1	2	20
8VD	Macedo de Cavaleiros	1	2	20

2.2 Caracterização das estações seleccionadas

A. Povoamentos seleccionados para o estudo da influência de solo e clima no crescimento da árvore

A tabela 3 apresenta as variáveis climáticas para os concelhos onde se situaram as diversas herdades seleccionadas, indicando a região climática a que pertencem. Em cada unidade uniforme povoamento/solo procedeu-se à marcação de duas parcelas de estudo. A uniformidade do solo dentro das parcelas foi verificada com observação local e através de sondagens quando possível.

Tabela 3. Caracterização do clima dos concelhos onde se localizam os povoamentos seleccionados para o estudo da influência do solo e clima no crescimento das árvores (Os concelhos onde se situam as 20 parcelas de idade conhecida em que se estudou simultaneamente o solo e o clima estão sombreados).

Concelho	Chamusca	Sines	Grândola	Lisboa	Santiago do Cacém	Coruche	Estremoz	Palmela	Serpa	Moura
Código de concelho	1407	1513	1505	1106	1509	1409	704	1508	213	210
Temperatura média (°C)	16.22	16.72	16.65	16.47	16.26	15.50	16.03	15.93	17.21	17.55
Radiação (kcal cm ⁻²)	148	158	153	158	157	148	153	153	162	163
Insolação (horas)	2750	2950	2950	3006	2950	2757	2800	2912	3050	3050
Precipitação média (mm)	737	695	668	664	663	657	648	615	542	484
Dias com precipitação (dias)	71	88	72	72	75	65	87	63	58	46
Humidade relativa (%)	76	83	79	73	83	69	68	72	78	81
Evapotranspiração real (mm)	550	532	524	483	491	550	471	550	417	396
Escoamento (mm)	209	182	141	159	161	143	172	130	104	83
Dias com geada (dias)	13	1	14	5	11	35	23	24	24	25
Meses com geada (meses)	2.0	0.5	2.3	1.7	1.9	3.6	5.1	3.3	3.3	2.6
1ª componente ¹ principal	-1.37	-1.95	-2.16	-2.94	-2.26	-1.67	-2.08	-2.32	-3.96	-4.41
2ª componente ¹ principal	-0.96	-2.73	-1.12	-1.16	-1.67	1.18	1.24	0.36	-0.508	-1.00

¹ Componentes principais de acordo com a ACP de Ribeiro e Tomé (2000)

Nos povoamentos em que se identificaram tipos de solo diferentes procedeu-se, sempre que possível, à marcação de parcelas em cada uma das situações. Este é o caso do povoamento do Monte Vale da Lande, que apresentava dois tipos de solo, tendo sido instalados pares de parcelas em cada caso.

A abertura de covas para a observação do perfil de solo das parcelas de medição baseou-se em dois critérios. Um primeiro, decorrente da estrutura do povoamento, tendo-se procurado a abertura das covas numa posição central de uma mancha de coberto uniforme. E um segundo para observação e avaliação da variabilidade espacial dos solos, de forma a garantir a uniformidade de condições nas parcelas de medição a instalar. Isto resultou, por vezes, num número de perfis superior ao das parcelas de medição assinaladas para efeitos de realização do estudo. Um terceiro critério, relativo à representatividade geográfica dos solos das parcelas de medição e observação, foi considerado, procedendo à consulta da Carta de Solos de Portugal, o que permitiu excluir povoamentos localizados em solos com pequena expressão territorial.

As covas foram abertas com retro-escavadora, o que permitiu observações de solo suficientemente profundas, tendo em atenção o volume útil de exploração do solo pelos sistemas radiculares.

Os solos foram observados segundo as normas para descrição de perfis definidas pela FAO. A colheita de amostras de solo para análise laboratorial foi obtida respeitando as camadas e horizontes do solo.

Os solos das parcelas seleccionadas para esta fase do estudo resultaram da obtenção de 62 amostras de terra que foram analisadas no Laboratório Químico Agrícola Rebelo de Silva e no Laboratório de Solos do Departamento de Geociências da Universidade de Évora. Para cada perfil obtiveram-se os seguintes parâmetros do solo:

Exp - Exposição

Lit - Litologia: material originário do solo.

UT - Unidade taxonómica de solo: de acordo com a Classificação da FAO.

Text hs - classe textural do horizonte superficial.

Text hss - classe textural dos horizontes sub-superficiais.

Esp hs – espessura do horizonte superficial.

Esp hss – espessura dos horizontes sub-superficiais.

EspUtil - Espessura útil de solo (cm): espessura até rocha pouco alterada ou não alterada.

Imperme - Ocorrência e profundidade de impermes.

Pedregosidade – pedregosidade média do perfil de solo: % saibro, cascalho, pedra, calhau e blocos.

DA hs - Densidade aparente do horizonte sub-superficial.

POR hss - Porosidade dos horizontes sub-superficiais.

R - Distribuição das raízes no solo: padrão, quantidade e profundidade de alcance observada.

Litter – biomassa por m² da folhada (horizonte orgânico).

MO hs – Teor em matéria orgânica no horizonte superficial.

C/N hs – Razão Carbono/Azoto.

BT hs – Bases de troca no horizonte superficial.

BT hss – Bases de troca dos horizontes sub-superficiais.

GSB hs – grau de saturação em bases no horizonte superficial.

GSB hss – grau de saturação em bases dos horizontes sub-superficiais.

CTC hs – capacidade de troca catiónica no horizonte superficial.

CTC hss – capacidade de troca catiónica nos horizontes sub-superficiais.

P₂O₅ hs - Fósforo assimilável no horizonte superficial.

P₂O₅ hss - Fósforo assimilável nos horizontes sub-superficiais.

K₂O hs - Fósforo assimilável. no horizonte superficial.

K₂O hss - Fósforo assimilável nos horizontes sub-superficiais.

K/Mg hs – razão potássio/magnésio no horizonte superficial.

K/Mg hss – razão potássio/magnésio nos horizontes sub-superficiais.

Ca/Mg hs – razão cálcio/magnésio no horizonte superficial.

Ca/Mg hss – razão cálcio/magnésio nos horizontes sub-superficiais.

É uma lista um pouco longa, mas é evidente que interessa compreender o que se passa no horizonte superficial e nos horizontes sub-superficiais, dado que há geralmente uma grande diferença e a árvore alimenta-se em todo o perfil de solo. Por outro lado, o horizonte superficial é um horizonte importante para o diagnóstico da vitalidade do ecossistema.

No ANEXO 10 encontram-se os dados obtidos para os diversos perfis estudados. A tabela 4 indica o número de parcelas medidas em cada uma das herdades, resumindo ainda a

informação recolhida para as variáveis que se consideraram mais importantes, em particular as que foram utilizadas nos modelos seleccionados para a predição do índice de qualidade da estação dos montados de sobro em Portugal.

B. Povoamentos seleccionados para o estudo da influência do clima no crescimento e propriedades da cortiça

A caracterização destes povoamentos foi feita ao nível do concelho onde o povoamento se localiza, sendo os concelhos caracterizados com base nos dados climáticos disponíveis no Atlas do Ambiente. No ANEXO 11 encontram-se os valores das variáveis climáticas para todos os concelhos do país.

2.3 Estudo da influência do solo e do clima no crescimento das árvores

O estudo da influência do solo e clima no crescimento das árvores é feito geralmente através do estudo da relação entre o índice de qualidade da estação (Si) e as variáveis edafo-climáticas disponíveis para os locais em estudo. A determinação do índice de qualidade da estação de cada um dos locais estudados faz-se com recurso a curvas de classe de qualidade (modelos para a simulação do crescimento em altura dominante). O desenvolvimento das curvas de classe de qualidade para o montado de sobro está sempre dependente da disponibilidade de dados de altura dominante em povoamentos com idade conhecida. Na base de dados SUBERDATA existem alguns dados com estes requisitos, mas não são muito abundantes. Tendo em conta a escassez deste tipo de dados, planeou-se inicialmente utilizar o método da curva-guia, com todas as deficiências que este método apresenta, para desenvolver um sistema de curvas de classe de qualidade.

Entretanto, o investigador responsável deste projecto teve a oportunidade de trabalhar em colaboração com colegas espanhóis, no âmbito da co-orientação da tese de doutoramento da Eng. Mariola Sanchez González. No âmbito desta colaboração foram desenvolvidas curvas de classe de qualidade para Espanha (González et al., aceite para publicação) com base em dados de análise do tronco, método que implica o abate de árvores, facto que impossibilita, ou pelo menos dificulta, a aplicação desta metodologia em Portugal.

Tabela 4. Caracterização da amostragem e dos solos dos povoamentos seleccionados para o estudo da influência do solo e clima no crescimento das árvores.

PROPRIEDADES DO SOLO	HERDADES																			
	Gorjão				Casal Velho						Vale da Lande		Provença		Monte Salta		Vale dos Mortos		Monte Araújo	
Parcelas	1	2	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	1	2
Si	16.6	16.5	12.7	13.1	13.9	13.7	13.8	13.7	14.8	14.5	15.1	14.7	14.4	14.3	9.7	10.0	12.3	12.4	11.3	11.1
Lit ¹	mdnc				csc					agc			agc		xls		xgds		xgds	
UT ²	Ppr				Rg					Pz			Par		Ex		Smp		Vx	
Text hs							Af										fg			
Text hss							A						af		fg		g		fg	
Esp hs	20	20	15	15	15	15	15	15	25	20	20	20	31	16	10	10	20	20	15	12
EspUtil	200	200	50	50	50	50	50	50	100	80	55	45	50	45	20	20	35	40	30	40
Imperme	200	200	130	130	130	130	130	130	200	200	65	60	73	100	20	35	50	80	80	80
Pedreg.	24.3	26.7							0.81	0.71	3.25	0.43	16.3	42.9	82.0	63.3	53.1	29.5	22.1	38.7
Porosid.	3	3							3	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1.5	1.5
Drenagem	6	6							6	6	3	3	4	4	2	2	2	2	3	3
MO hs	2.25	1.7							1	1.1	1.4	0.6	1.9	1.6	10.7	11.9	1.05	1.11	1.7	1.6
C/N hs	12.8	14.7							13.3	12.5	20.0	13.6	12.6	14.6	2.7	2.6	6.7	3.4	8.2	11.8
GSB hs	17.1	9.7							24.6	17.3	16.1	22.1	39.6	51.0	34.3	47.9	43.6	47.1	44	37
P2O5 hs	19	9							12	10	8	8	10	8	9	10	10		8	8
K2O hs	59	25							21	18	14	10	94	104	108	139	131		88	53

¹ mdnc – materiais detriticos não consolidados; csc – cascalheiras; agc – arenitos grosseiros consolidados; xls – xistos luzentes e sericíticos; xgds – xistos e grauvaques do devónico e silúrico

² Ppr – podzois não hidromórficos; Pz – podzois; Par – solos litólicos não húmicos; Rg – regossolos; Vx – solos mediterrâneos vermelhos; Smp – solos mediterrâneos pardos; Ex – litossolos de xistos

As curvas obtidas para Espanha, representadas na figura 2, têm a seguinte expressão:

$$h_{dom2} = \frac{20.7216}{1 - \left(1 - \frac{20.7216}{h_{dom1}}\right) \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1.4486}},$$

onde h_{dom1} e h_{dom2} são, respectivamente, as alturas dominantes nas idades t_1 e t_2 .

Na figura 2 representam-se também as várias parcelas permanentes de idade conhecida que foram instaladas em Portugal no âmbito deste projecto. Com base nestas parcelas, foi possível verificar que os índices de qualidade da estação em Portugal parecem ser superiores aos encontrados em Espanha. Enquanto que nas curvas publicadas por González et al. (aceite para publicação) se optou, de acordo com os dados de Espanha, por incluir as classes de 6, 8, 10, 12 e 14 (idade padrão de 80 anos), a figura 2 sugere que as parcelas portuguesas se distribuem pelas classes 8, 10, 12, 14 e 16, com nítido predomínio a partir da classe 10.

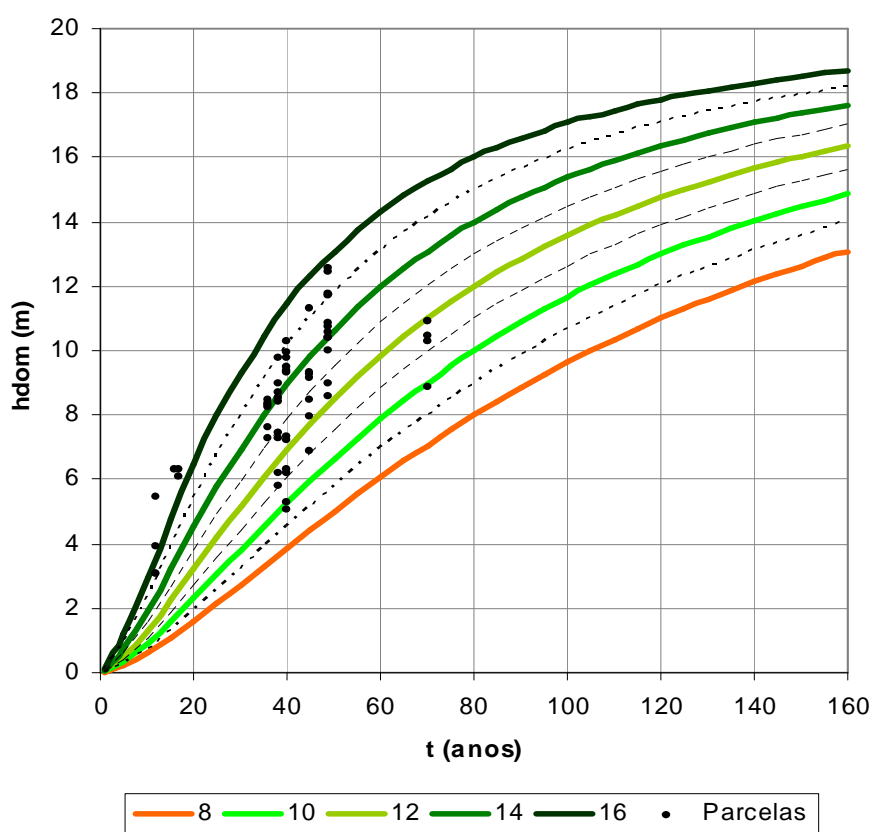


Figura 2. Curvas de classe de qualidade desenvolvidas com dados de análise de tronco realizada em árvores abatidas em Espanha e que estão a ser utilizadas para classificar os povoamentos portugueses

Estas curvas foram utilizadas para classificar as estações seleccionadas para o estudo da influência de factores de solo e clima no crescimento das árvores. Foi, então, possível utilizar os dados de solo e clima para caracterizar as parcelas em cada uma das classes de qualidade, de modo a encontrar uma função para a predição do índice de qualidade da estação com base apenas em variáveis de solo e de clima.

Com base nos perfis abertos, foi possível caracterizar o solo de 20 parcelas, embora em algumas delas não se tenham analisado todos os parâmetros, nomeadamente os relativos à química do solo que não foram analisados nas parcelas do Casal Velho, pela inexistência de solo.

Numa fase inicial do estudo, analisou-se a relação gráfica entre o índice de qualidade da estação (Si) e as várias variáveis de solo e clima testadas. Estas análises encontram-se nas figuras 3 a 7. Em cada figura incluiu-se a regressão linear correspondente, embora para algumas variáveis se tenha optado por uma parábola.

De um modo geral, as variáveis de solo são mais importantes na explicação do índice de qualidade da estação do que as variáveis de clima, visto que coexistem no mesmo concelho (com clima semelhante, portanto) parcelas com valores de Si bastante diferentes. De entre as variáveis do clima, são a temperatura média, a precipitação anual e a evapotranspiração as que apresentam uma correlação mais elevada com o Si, respectivamente 0.5933, 0.5581 e 0.5102. As duas primeiras componentes principais da ACP realizada por Ribeiro e Tomé (2000) também apresentam correlações razoáveis com o Si (0.5541 e 0.5012, respectivamente).

De todas as variáveis do solo, a espessura útil do solo e a espessura, especialmente na sua forma inversa, salientam-se pela elevada correlação que apresentam com o Si, respectivamente 0.5650 e 0.6233 para a espessura e respectiva inversa, e 0.7846 e 0.8313 para a espessura útil do solo e respectiva inversa (figura 5). As unidades litológicas e taxonómicas mostram uma relação nítida com a produtividade (figura 4). No entanto, o facto de algumas delas ocorrerem apenas numa herdade pode incorrer numa falsa correlação. Por exemplo, a unidade litológica mdnc – materiais detríticos não consolidados – só ocorre na herdade do Gorjão que, por sinal, é a que apresenta o valor mais elevado de espessura útil do solo. Assim, fica a dúvida se a correlação encontrada é, de facto, devida à unidade litológica ou se tal se deve principalmente à espessura útil do solo. Optou-se, então, por simplificar as unidades litológicas, considerando apenas: xistos (xls + xgds), cascalheiras (csc) e areias (mdnc+agc). A textura do horizonte superficial também mostra uma separação nítida entre os solos de textura af com os de textura fg. A localização do imperme tem uma

relação semelhante à das espessuras do horizonte superficial e útil do solo. A pedregosidade e a drenagem também mostram uma correlação bastante razoável com o Si (figura 6). Das características químicas do solo, a razão C/N do horizonte superficial é a que apresenta a maior correlação com a produtividade (0.6287), seguido da razão Ca/Mg no horizonte superficial (0.5314).

O objectivo do projecto é obter um modelo com uma capacidade preditiva razoável mas, se possível, utilizando, como predictoras, variáveis que sejam de medição relativamente expedita e pouco onerosa. Para tentar encontrar este modelo, recorreu-se à análise de regressão, algoritmo de todas as regressões possíveis. Este algoritmo foi utilizado com diversos conjuntos de dados, desde o conjunto com todas as variáveis disponíveis, até conjuntos mais simples, nos quais as variáveis de medição mais complexa e/ou mais onerosa, ou aquelas que, à partida, apresentaram uma correlação simples com o Si menor foram sendo sucessivamente eliminadas:

1. Parcelas com disponibilidade de todos os dados, incluindo a química do solo (n=12)
2. Igual a 1, mas excluindo as variáveis relativas à química do solo (n=14)
3. Igual a 2, mas excluindo a pedregosidade, drenagem e porosidade (n=20). Estas variáveis foram excluídas porque só existiam para 14 pontos
4. Igual a 3, mas excluindo as unidades taxonómicas (n=20). A textura não entrou neste modelo
5. Igual a 4, mas excluindo a espessura útil do solo e a localização do imperme (n=20)
6. Apenas com variáveis climáticas (n=20)
7. Igual a 6, mas excluindo as 1ª e 2ª componentes principais da ACP de Ribeiro e Tomé (2000)

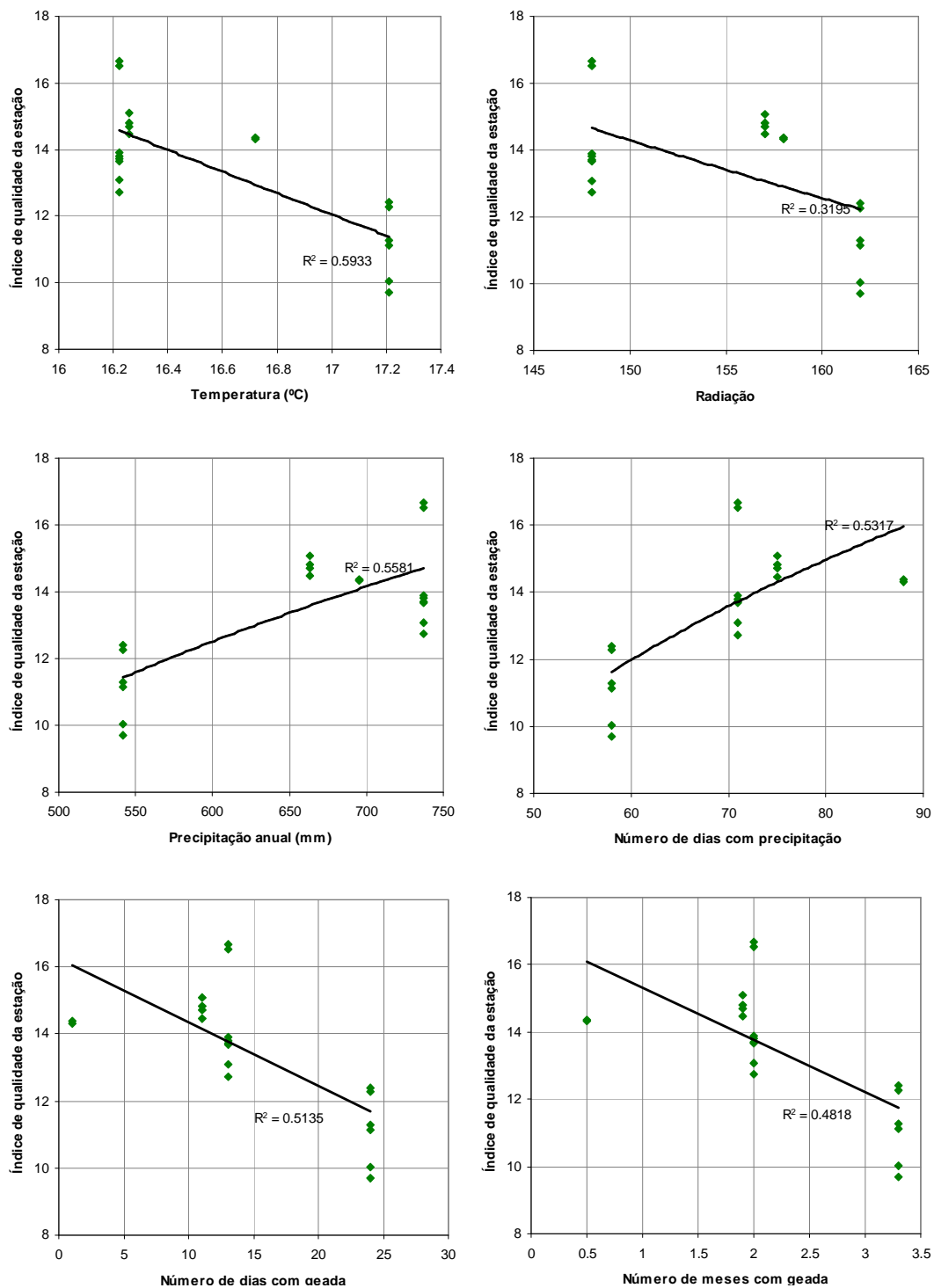


Figura 3A. Relação gráfica entre o índice de qualidade da estação e as variáveis de clima estudadas (continua).

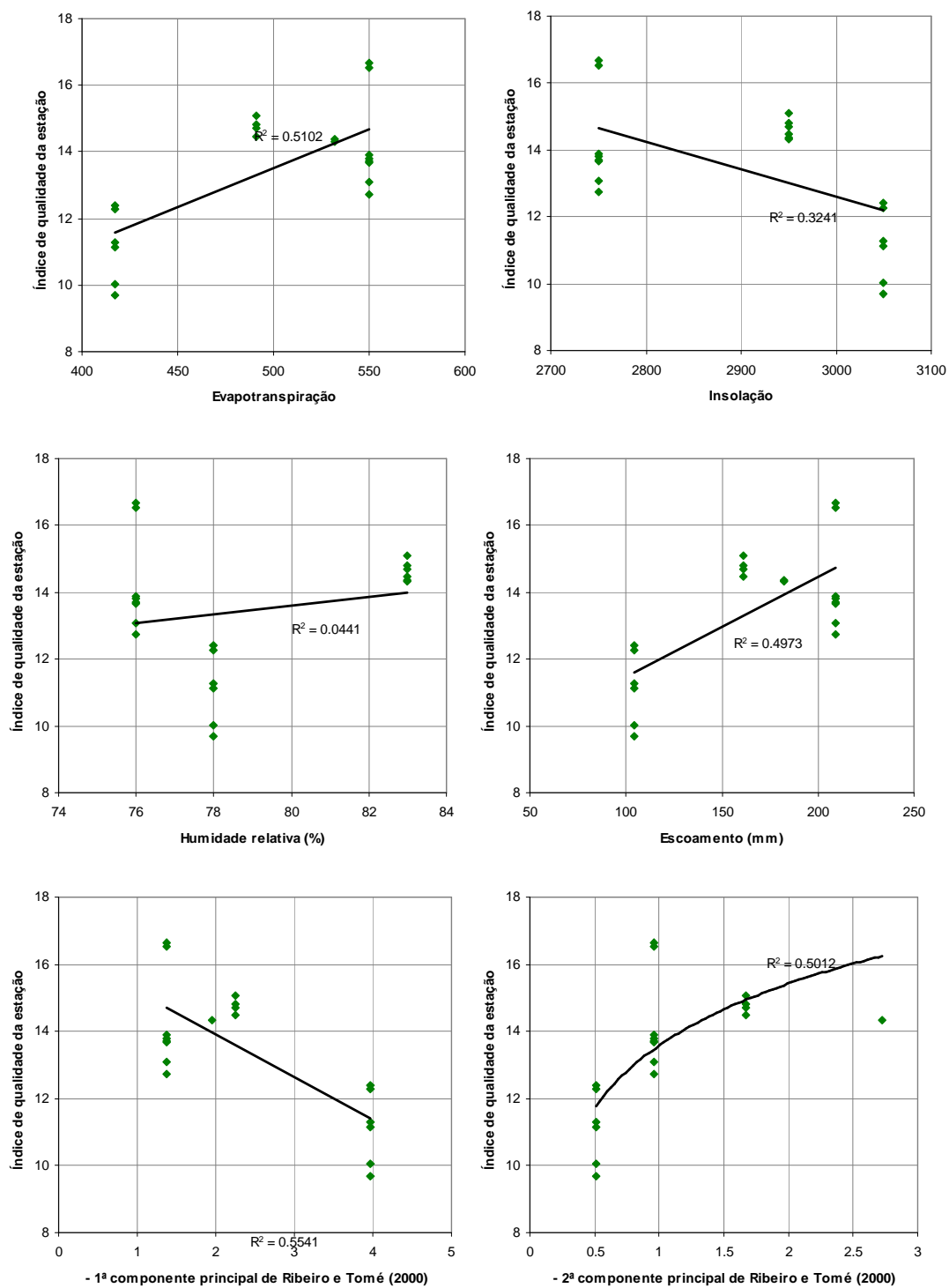


Figura 3B. Relação gráfica entre o índice de qualidade da estação e as variáveis de clima estudadas (continuação).

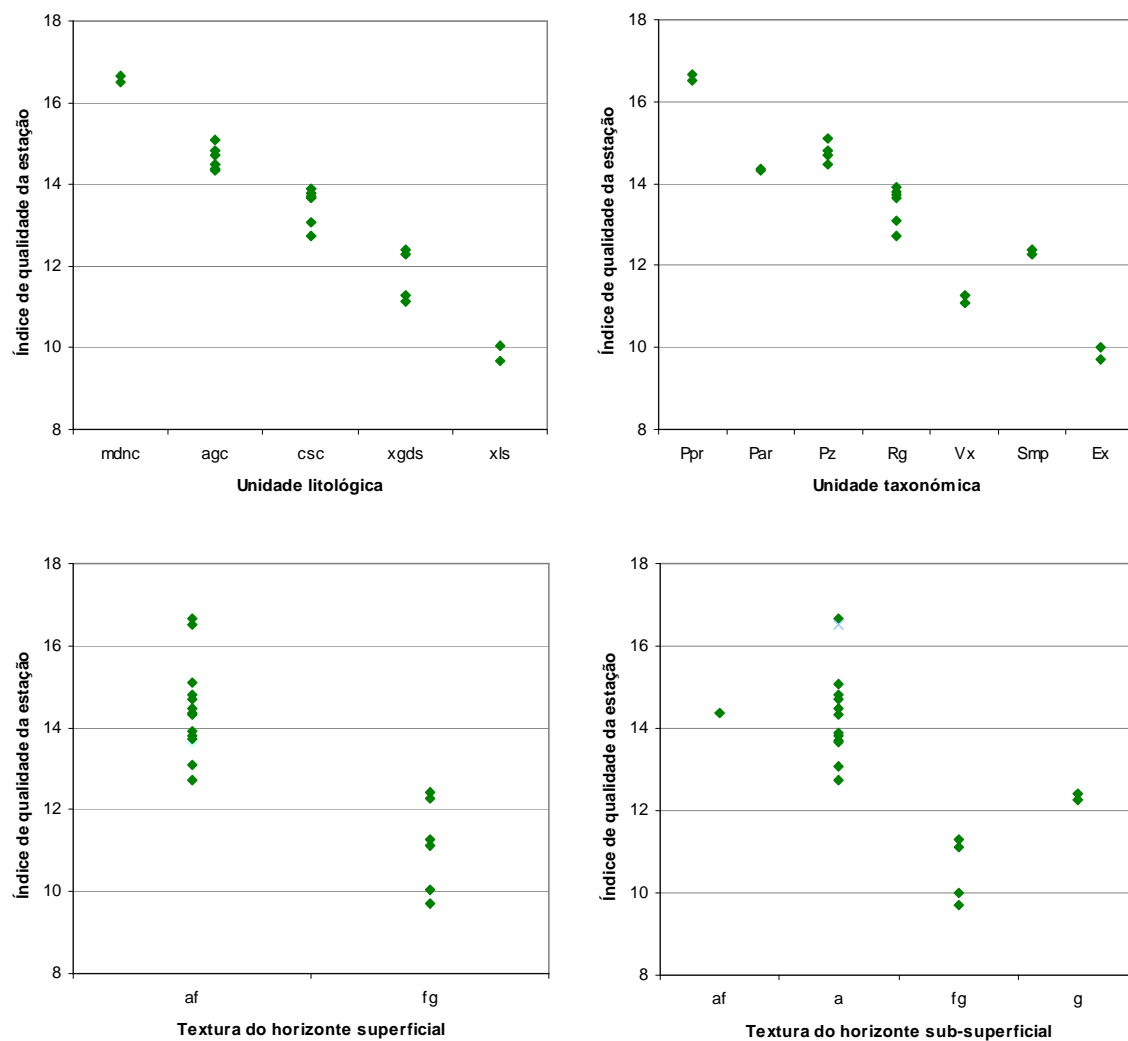


Figura 4. Relação gráfica entre o índice de qualidade da estação e as unidades litológicas e taxonômicas, assim como com as texturas do horizonte superficial e sub-superficial.

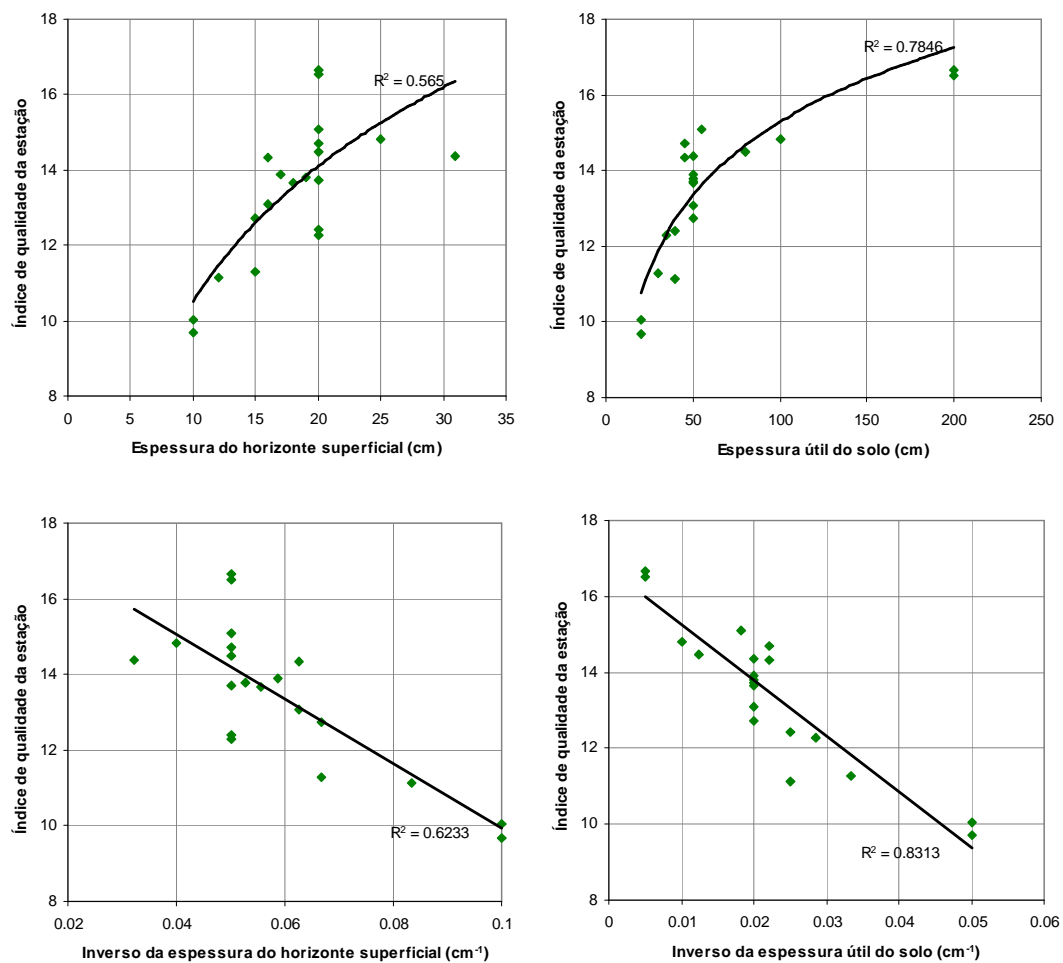


Figura 5. Relação gráfica entre o índice de qualidade da estação e a espessura do horizonte superficial, espessura útil do solo e respectivos inversos.

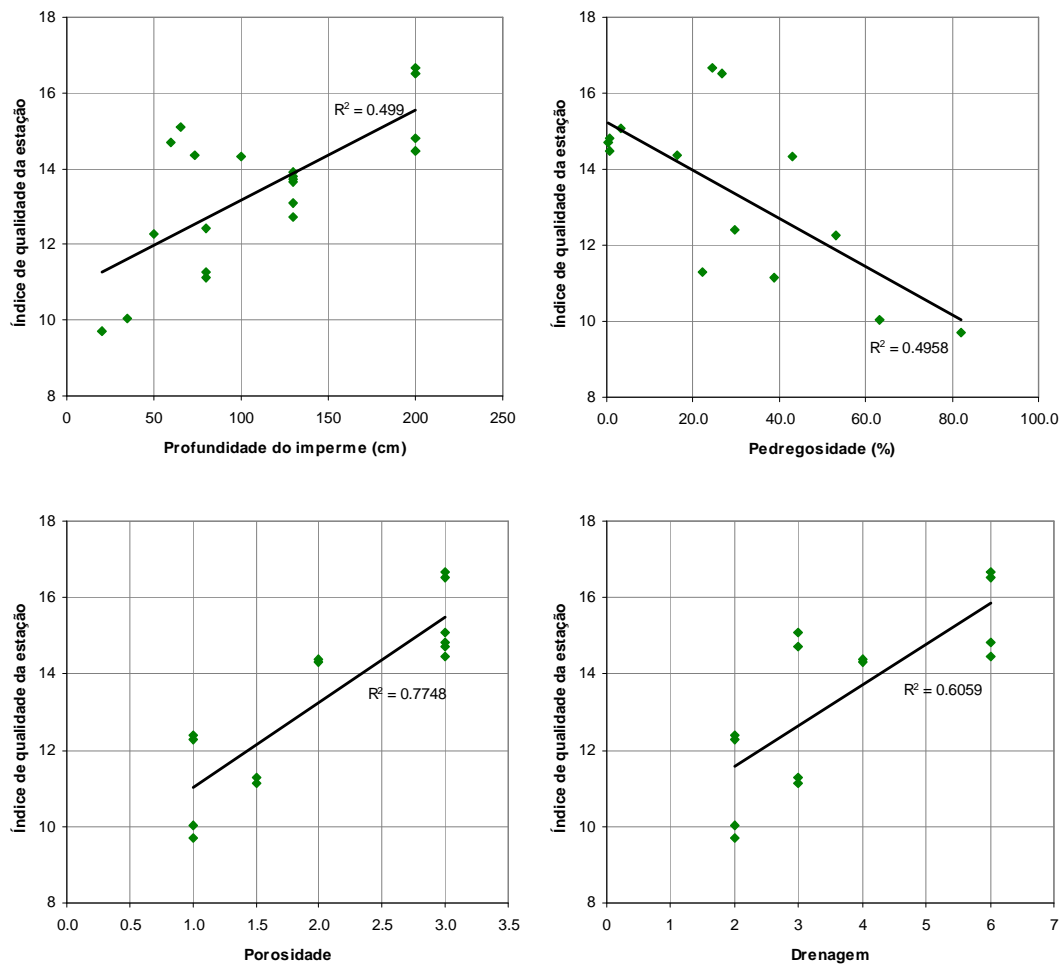


Figura 6. Relação gráfica entre o índice de qualidade da estação e a localização do imperme, a pedregosidade, a drenagem e a porosidade.

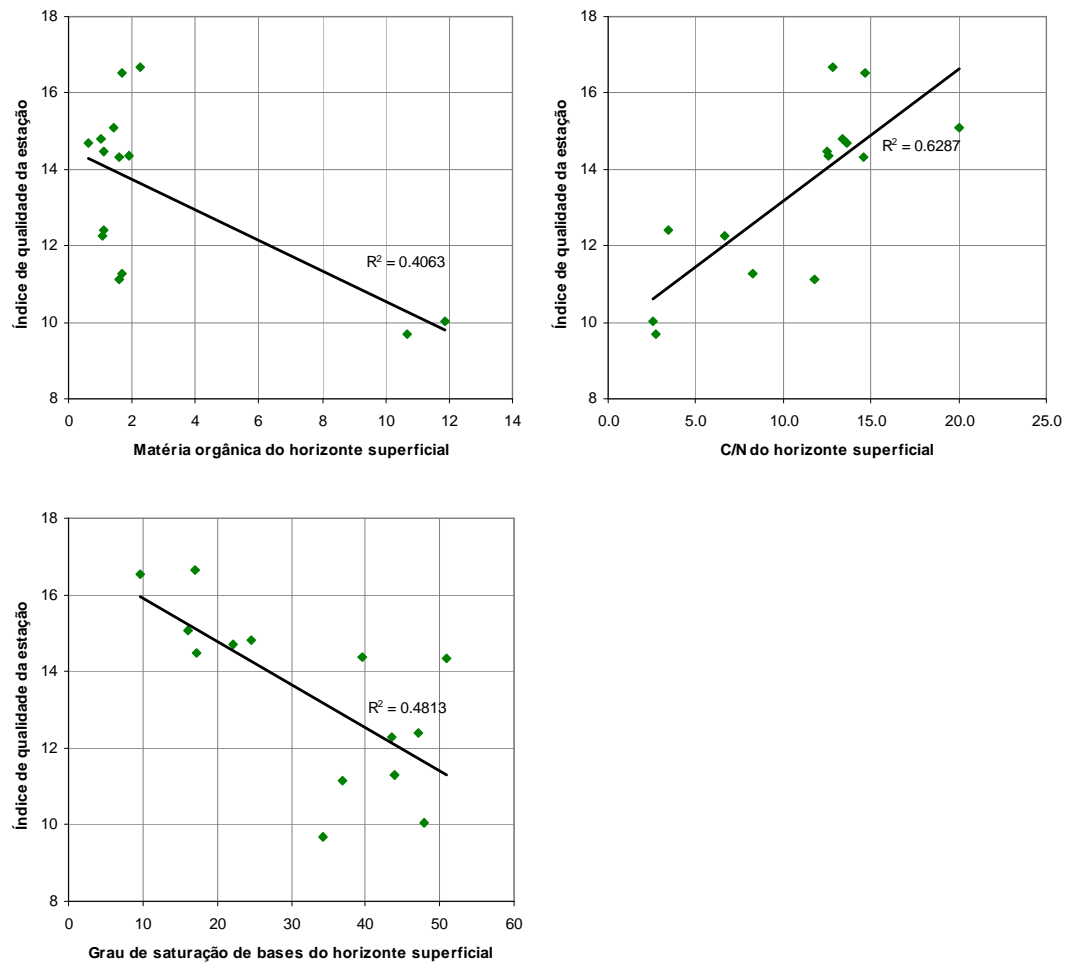


Figura 7A. Relação gráfica entre o índice de qualidade da estação e as propriedades químicas do solo estudadas (continua).

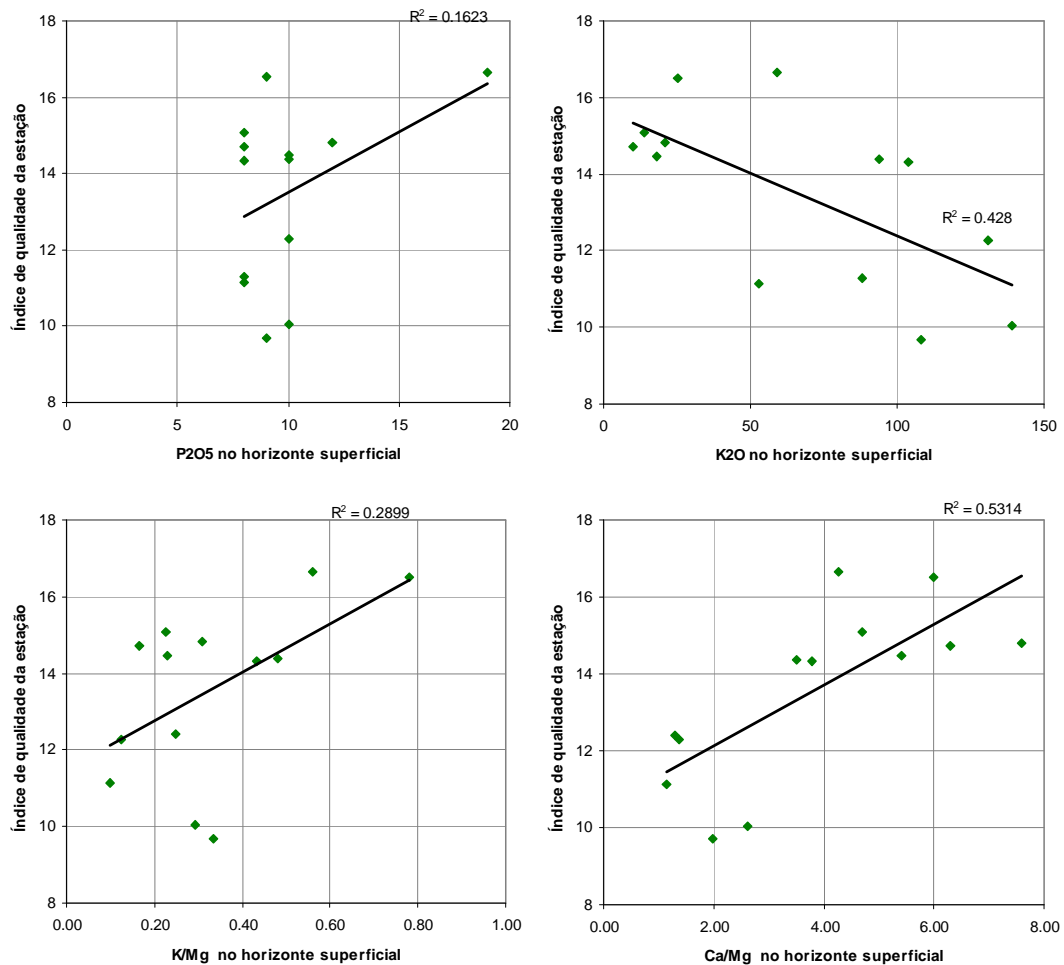


Figura 7B. Relação gráfica entre o índice de qualidade da estação e as propriedades químicas do solo estudadas (continuação).

Os vários conjuntos de dados, com os quais se “correu” o algoritmo de todas as regressões possíveis e os correspondentes resultados, encontram-se no ANEXO 12. A análise dos resultados aí apresentados permite retirar as seguintes conclusões:

- 1 É possível obter modelos complexos e modelos mais simples (com variáveis de medição mais simples e menos onerosa) com capacidade de ajustamento semelhante;
- 2 A espessura útil do solo e, em sua substituição, a espessura do horizonte superficial, são regressores, em quase todos os modelos alternativos, com boa capacidade preditiva;

- 3 Há uma certa instabilidade na selecção dos melhores regressores quando se utiliza conjuntos de dados de dimensão diferente, indicando que, num futuro próximo, é bastante importante enriquecer a base de dados agora disponível;
- 4 Quando se consideram apenas as 12 parcelas para as quais os dados estão completos, a precipitação anual e a 1ª componente principal da ACP de Ribeiro e Tomé (2000) salientam-se como sendo das variáveis climáticas com uma melhor capacidade para explicar o Si de um povoamento; no entanto, a insolação surge como a variável mais importante quando se utilizam todos os dados. O clima surge, de facto, a separar as parcelas do litoral das do interior e indica, portanto, a disponibilidade de água, a qual pode ser indicada, indirectamente, pela insolação, dada a elevada correlação entre esta variável e a precipitação.
- 5 O estudo dá indicação de que a informação sobre as unidades litológicas e taxonómicas (obteníveis a partir de cartografia) pode ser um regressor importante em modelos para a predição do índice de qualidade da estação de montados de sobro; o facto de algumas unidades taxonómicas estarem representadas apenas numa herdade, levou à não utilização desta variável nos modelos seleccionados.

Com base nas conclusões listadas acima, e tendo presente que é mais importante optar por modelos mais simples mas mais robustos, com maior capacidade de extrapolação, optou-se por não utilizar as variáveis relativas à química do solo, nem a pedregosidade, a porosidade ou a drenagem, uma vez que a utilização destas variáveis como regressoras reduzia grandemente o número de dados disponíveis, sem um aparente acréscimo na capacidade de ajustamento. Como já foi dito, também não foram utilizadas as unidades taxonómicas.

Ponderando os diversos resultados apresentados no ANEXO 12, seleccionou-se um conjunto de modelos alternativos, a utilizar em função da informação disponível. Nestes modelos salientam-se, como já foi mencionado, as duas variáveis relativas à espessura do solo, do horizonte superficial ou útil, e a insolação. A insolação apresenta uma elevada correlação com outras variáveis climáticas que pareceriam mais lógicas, tais como a precipitação anual. Contudo, esta variável salientou-se em todos os modelos, à excepção daqueles que só contemplam variáveis de clima. A separação de duas unidades litológicas também parece importante, quer se considere, ou não, a espessura do solo. Nos modelos apenas com variáveis do clima como regressores optou-se por apresentar dois modelos alternativos, uma vez que a variável prin2 (2ª componente principal da ACP de Ribeiro e

Tomé, 2000), presente no melhor modelo (Clima 1), é um pouco mais difícil de interpretar do que a variável dprec (número de dias de precipitação) utilizada no modelo Clima 2.

Os modelos seleccionados foram os seguintes:

1. Modelo EspUtil + Lit + Clima

$$Si = 26.63463 + 1.8295 \text{ lit_areias} - 73.91054 \frac{1}{\text{EspUtil}} - 0.00423 \text{ insol} \quad (R^2=0.9498)$$

2. Modelo Esp + Lit + Clima

$$Si = 33.66346 + 2.14654 \text{ lit_areias} - 36.36852 \frac{1}{\text{Esphs}} - 0.00653 \text{ insol} \quad (R^2=0.9531)$$

3. Modelo Lit + Clima

$$Si = 35.98420 + 2.81039 \text{ lit_areias} - 0.00816 \text{ insol} \quad (R^2=0.8828)$$

4. Modelo Clima 1

$$Si = 58.52373 - 2.77821 \text{ tempm} - 0.84013 \text{ prin2} \quad (R^2=0.6753)$$

5. Modelo Clima 2

$$Si = 46.55590 - 2.30252 \text{ tempm} + 0.07245 \text{ dprec} \quad (R^2=0.5796)$$

Nestes modelos os símbolos das variáveis têm o seguinte significado:

lit_areias: unidade litológica mdnc ou agc

EspUtil: espessura útil do solo

Esp: espessura do horizonte superficial

Insol: insolação

Prin2: 2ª componente principal da ACP de Ribeiro e Tomé (2000)

Tempm: temperatura média anual

Dprec: número de dias de precipitação

A capacidade de ajustamento e preditiva destes modelos encontra-se na tabela 4. Como se pode ver, à excepção dos modelos que incluem apenas variáveis de clima como preditores, a capacidade de ajustamento dos restantes modelos é semelhante. Nenhum dos modelos apresentou sinais de heterocedasticidade (avaliada pelo gráfico dos resíduos studentizados sobre os valores preditos), nem de não-normalidade dos resíduos (avaliada pelo gráfico dos resíduos studentizados em papel de probabilidade normal – QQ-plots). Os modelos foram validados com base nos resíduos press, segundo metodologia descrita, por exemplo, em Soares et al. (1995) e Tomé e Soares (1997). O enviesamento foi avaliado pela média dos resíduos press, e a precisão pela média do valor absoluto dos resíduos press e pelos correspondentes percentis 5% e 95%. Foi ainda calculada a eficiência de modelação. Os resultados da validação encontram-se na tabela 5.

Tabela 5. Ajustamento e validação dos 5 modelos alternativos propostos para a predição do índice de qualidade da estação em função de variáveis de solo e clima (n=20).

Modelo	Ajustamento		Validação com resíduos press (rp)				Eficiência modelação
	R ²	R ² -aj	\overline{rp}	$ \overline{rp} $	P95 _{rp}	P5 _{rp}	
EspUtil + Lit + Clima	0.9498	0.9404	-0.0076	0.4289	0.8007	-0.9774	0.9190
Esp + Lit – Clima	0.9531	0.9443	-0.0011	0.4007	0.7444	-0.9712	0.9224
Lit + Clima	0.8828	0.8690	0.0021	0.5500	1.4811	-1.4367	0.8373
Clima 1	0.6753	0.6371	-0.0008	0.8698	2.5873	-1.7198	0.5801
Clima 2	0.6712	0.6325	-0.0073	0.9141	2.4662	-1.7590	0.5796

As figuras 8 e 9 mostram a relação entre o índice de qualidade da estação para as duas unidades litológicas consideradas (arenitos e materiais detríticos não consolidados versus xistos e cascalheiras) em função da espessura útil do solo e da espessura do horizonte superficial, respectivamente.

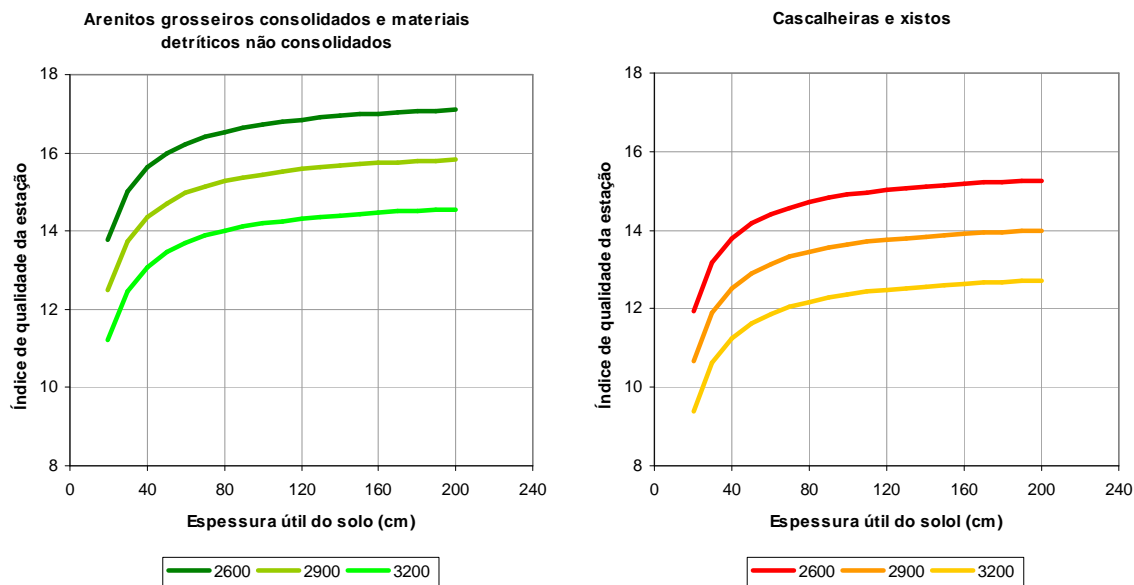


Figura 8. Relação entre o índice de qualidade da estação (Si) e a espessura útil do solo para as duas unidades litológicas consideradas e para três níveis de insolação (modelo EspUtil + Li + Clima).

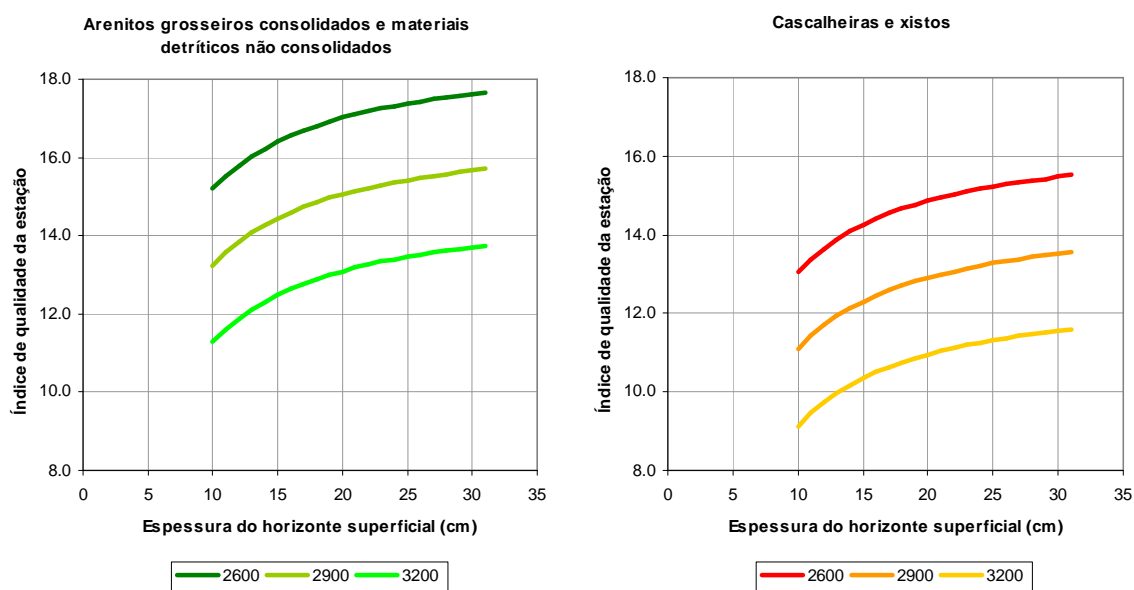


Figura 9. Relação entre o índice de qualidade da estação (Si) e a espessura do horizonte superficial para as duas unidades litológicas consideradas e para três níveis de insolação (modelo Esp + Li + Clima).

A figura 10 mostra a mesma relação, mas apenas em função da insolação. Em cada gráfico consideraram-se três níveis de insolação: 2600, 2900 e 3200 horas. Finalmente, a figura 11 ilustra os modelos Clima1 e Clima2, ou seja, mostram a relação entre o índice de qualidade da estação, a temperatura média (níveis 16, 16.5 e 179 e a 2ª componente principal da ACP de Ribeiro e Tomé (2000) ou do número de dias de precipitação.

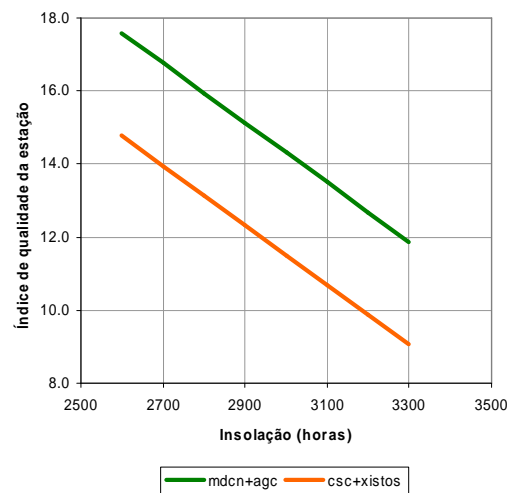


Figura 10. Relação entre o índice de qualidade da estação (Si), a temperatura média e a 2ª componente principal da ACP de Ribeiro e Tomé, 2000 (modelo Clima 1).

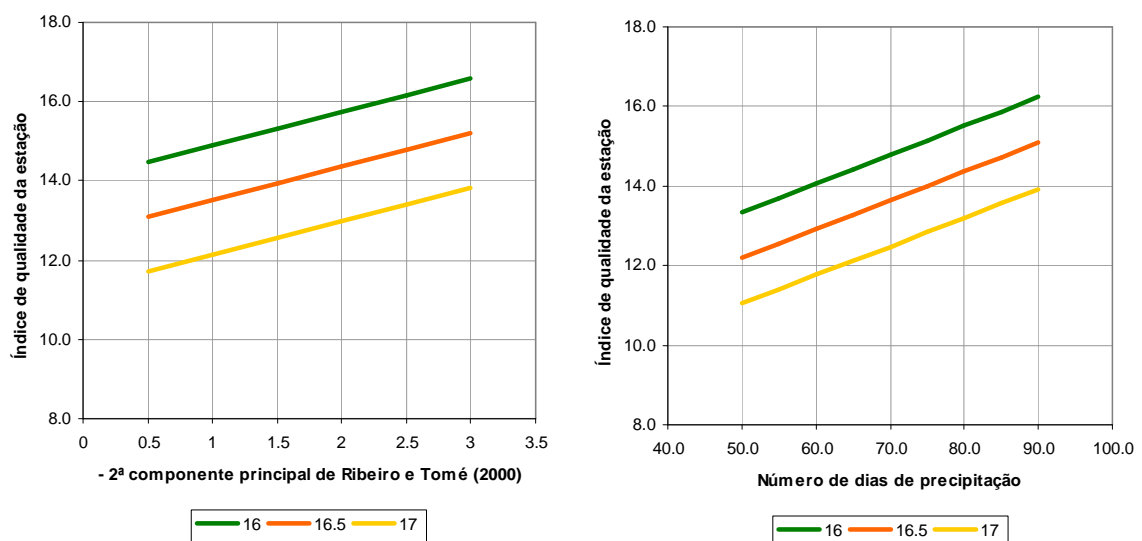


Figura 11. Relação entre o índice de qualidade da estação (Si), a temperatura média e o número de dias de precipitação (modelo Clima 2).

Convém salientar que o modelo se baseia em dados de apenas 20 parcelas, localizadas em 7 Herdades, pelo que há que utilizá-lo com alguma cautela. A obtenção de dados sobre o perfil do solo em mais herdades é, com certeza, uma das prioridades de investigação a curto prazo.

2.4 Estudo da influência do clima no crescimento e qualidade da cortiça

A análise da influência do clima no crescimento da cortiça foi realizada com base no índice de crescimento da cortiça (icc), o qual se refere à espessura acumulada em anos completos da cortiça com 9 anos (8 anos completos). Este índice é obtido para cortiças cozidas.

Esta transformação foi necessária pelo facto de o conjunto de dados utilizado incluir cortiça de diferentes idades, desde os 9 aos 16 anos. O índice de crescimento da cortiça, sendo a espessura acumulada nos primeiros 8 anos completos, conduz à homogeneização dos dados.

Uma primeira análise do conjunto dos 3310 dados disponíveis permitiu concluir da grande variabilidade do crescimento da cortiça no mesmo local. Este facto, que já havia sido verificado por diversos autores, é um indício de uma elevada variabilidade genética.

Numa primeira fase da análise calcularam-se os coeficientes de correlação entre o icc e as seguintes variáveis: variáveis da árvore (du), índices de dominância (Rddom e Rbdom), medidas da densidade do povoamento (N e G), estado de desenvolvimento do povoamento, avaliado pelo ddom e hdom, e variáveis climáticas do concelho. No ANEXO 14 mostram-se os resultados desta análise. As correlações encontradas com as variáveis climáticas são bastante fracas, embora algumas sejam significativas, e de sinal contrário ao antecipado. Por exemplo, encontrou-se uma correlação positiva com a temperatura, e negativa com a precipitação. Por seu lado, as correlações com as variáveis da árvore são também fracas, sendo algumas das correlações com as variáveis do povoamento de sinal contrário ao antecipado, como é o caso da área basal por hectare, que apresenta uma correlação positiva com o icc. A correlação com os índices de dominância não é significativa, indicando que o crescimento da cortiça não é afectado pela competição intra-específica. Mas a correlação negativa com a densidade do povoamento, embora fraca, não suporta esta hipótese.

Numa segunda fase tentou-se desenvolver um modelo para a predição do calibre em função das variáveis acima listadas, utilizando-se, para tal, o algoritmo de todas as regressões possíveis. Os resultados mostram-se também no ANEXO 14, no qual é patente a total falta

de capacidade das variáveis ensaiadas para explicar a variação do calibre. Mesmo com 6 variáveis, não se conseguem obter coeficientes de correlação superiores a 0.0689.

Face a este resultado, definiu-se a seguinte metodologia para a modelação do índice de crescimento da cortiça:

Primeira fase: Modelação da distribuição de icc's esperada para um concelho

1. Modelação do icc médio, do icc mínimo e do percentil 90% dos icc do concelho em função de variáveis climáticas
2. Com os valores estimados com base nestes três modelos, simulação da distribuição de calibres para cada concelho, utilizando uma metodologia idêntica à utilizada na modelação da distribuição de diâmetros (veja-se, por exemplo, Clutter et al. 1983; Aranda, 2004; Fonseca, 2004).

Segunda fase: Estudo local da relação entre o icc da árvore e variáveis da árvore e do povoamento

Numa tentativa de verificar se existe alguma correlação entre o índice de crescimento da cortiça e variáveis da árvore, caracterizadoras da sua dimensão ou da sua dominância, e variáveis do povoamento, procedeu-se à modelação, separadamente para cada herdade com mais do que 100 observações, do índice de crescimento da cortiça em função destas variáveis. Eliminou-se, deste modo, o efeito, que possa haver, do clima e do solo.

A. Modelação da distribuição de icc's esperada para um concelho

O ANEXO 15 mostra as correlações simples entre cada variável em estudo (icc_mean, icc_min e icc_P90) e as variáveis climáticas, assim como o resultado do algoritmo de todas as regressões possíveis para a modelação destas variáveis em função de variáveis climáticas. As correlações com as variáveis climáticas não são muito significativas mas, quando o são, apresentam o sinal que seria de esperar. Os modelos apresentam já uma capacidade preditiva razoável, permitindo, portanto, a simulação da distribuição de icc em função do clima do local. É óbvio que haverá sempre variabilidade dentro de um determinado concelho, pelo que se aconselham os proprietários a realizar uma amostragem para a avaliação da qualidade e crescimento da cortiça e simular os calibres e qualidades com base nas distribuições observadas no seu povoamento.

A metodologia utilizada para seleccionar os modelos a utilizar para a modelação dos icc médio e mínimo e do P90 foi a seguinte:

1. Ajustar o modelo com k variáveis e analisar a significância das variáveis e a colinearidade (esta com base nos factores de infracção da variância dos estimadores dos parâmetros da regressão);
2. Se o modelo ajustado apresentar evidência de colinearidade e/ou variáveis não significativas, voltar ao passo 1, mas ajustando agora o modelo com k-1 variáveis;
3. Terminar quando o modelo ajustado não apresentar evidência de colinearidade (todos os fiv inferiores a 15) e incluir apenas variáveis significativas.

Aplicando esta metodologia, seleccionaram-se os seguintes modelos (os detalhes do ajustamento encontram-se no ANEXO 15):

1. Modelo para o icc médio (icc_mean)

$$\text{icc_mean} = 12.26900 + 0.18051 \text{ dprec} - 1.24931 \text{ prin2}$$

$$(R^2=0.4539; R^2\text{-aj}=0.4019)$$

2. Modelo para o icc mínimo (icc_min)

$$\text{icc_min} = -113.75346 + 0.88611 \text{ rad} - 3.89087 \text{ prin1}$$

$$(R^2=0.3619; R^2\text{-aj}=0.3011)$$

3. Modelo para o P90 (icc_p90)

$$\text{icc_P90} = -221.47691 + 2.42927 \text{ tempm} + 0.03973 \text{ insol} + 0.84988 \text{ rad} + 12.70957 \text{ prin1}$$

$$(R^2=0.6143; R^2\text{-aj}=0.5332)$$

Uma vez utilizados estes modelos para a predição destas estatísticas caracterizadoras da distribuição de calibres, será fácil simular a distribuição dos calibres com base na distribuição Weibull, com recurso ao método dos momentos.

B. Estudo local da relação entre o icc da árvore e variáveis da árvore e do povoamento

Seleccionaram-se para este estudo apenas as herdades com um número de observações superior a 50, num total de 9 herdades. Iniciou-se o estudo pela análise das correlações simples entre o *icc* e as variáveis da árvore e do povoamento utilizadas nos estudos anteriores (ANEXO 16). A tabela 6 resume os resultados desta análise. Como se pode ver, a correlação com o diâmetro é, na maior parte das vezes, não significativa podendo aparecer positiva ou negativa. Com apenas uma excepção para o *Rddom* e duas excepções para o *Rbdom*, a correlação com os índices de dominância também não é significativa, indicando que a competição intra-específica não influencia o crescimento da cortiça. Esta é uma conclusão importante, quer para a modelação, quer do ponto de vista prático pois indica que será possível aumentar a densidade dos montados actuais sem afectar a qualidade da cortiça. As correlações com a área basal são quase sempre positivas e significativas. Esta correlação positiva é difícil de interpretar, até porque as correlações com a densidade do povoamento, embora muitas não significativas, são quase sempre negativas. Há a possibilidade de as maiores áreas basais estarem associadas às melhores estações e da produtividade da estação afectar positivamente o *icc*.

Tabela 6. Análise por herdade das correlações simples entre o índice de crescimento da cortiça e variáveis da árvore e do povoamento.

Variável	Herdade								
	CV	CM	MC	SN	HP	MG	RV	VM	VP
ndados	285	483	227	198	403	419	236	362	59
du	0.238 <.0001	0.043 0.3551	-0.005 0.9418	0.067 0.3449	0.020 0.6840	0.170 0.0003	0.011 0.8640	0.157 0.0020	-0.124 0.3487
Rddom	0.182 0.0021	-0.016 0.7347	-0.129 0.0523	-0.069 0.3364	-0.047 0.3489	0.0181 0.7010	0.020 0.7615	0.084 0.1031	-0.067 0.6140
Rbdom	0.181 0.0021	-0.020 0.6710	-0.137 0.0389	-0.050 0.4794	-0.058 0.2431	0.028 0.5548	0.013 0.8390	0.072 0.1596	-0.050 0.7072
G	0.119 0.0453	0.153 0.0010	0.136 0.0406	0.028 0.6912	0.130 0.0088	0.203 <.0001	-0.165 0.0112	0.231 <.0001	-0.084 0.5257
N	-0.081 0.1705	-0.042 0.3643	-0.050 0.4537	-0.200 0.0048	-0.034 0.4898	-0.204 <.0001	-0.229 0.0004	0.049 0.3401	-0.305 0.0189
ddom	0.159 0.0072	0.112 0.0154	0.123 0.0644	0.224 0.0015	0.100 0.0441	0.270 <.0001	-0.001 0.9881	0.162 0.0015	-0.129 0.3303

Ainda no ANEXO 16, encontram-se os resultados do algoritmo de todas as regressões possíveis para a modelação do icc em função de variáveis da árvore e do povoamento. Confirma-se a impossibilidade de modelar o icc em função de variáveis da árvore e do povoamento.

Face aos resultados obtidos para a modelação do índice de crescimento da cortiça, o modelo SUBER 4.0 adopta as seguintes opções:

1. Tentar persuadir os proprietários a realizar nas suas propriedades um inventário da qualidade da cortiça
2. Caso este inventário não tenha sido realizado, o modelo adoptará a distribuição de diâmetros simulada para o concelho em função das variáveis climáticas
3. Atribuir aleatoriamente os calibres e as qualidades às diversas árvores da parcela de simulação, independentemente das dimensões das árvores.

Tarefa 3. - Simulação da estrutura do povoamento

Responsável: Paula Soares

Objectivos:

O objectivo desta tarefa era propor a metodologia a utilizar para a simulação dos dados em falta de uma parcela, quando os dados provenientes do inventário não estejam completos.

Num inventário corrente, há variáveis que não são normalmente medidas, como, por exemplo, os diâmetros da copa ou as coordenadas das árvores. Qualquer modelo inclui, portanto, metodologias para simular, a partir da informação disponibilizada pelo utilizador, as restantes variáveis necessárias para o modelo. O módulo de inicialização é aquele que, no modelo SUBER, a partir da informação disponibilizada pelo utilizador, gera a informação em falta.

Nesta tarefa foram consideradas as diversas variáveis utilizadas pelo modelo SUBER para caracterizar um povoamento:

3.1 Caracterização da parcela

- Localização
- Área
- Forma e dimensões
- Dimensões da bordadura
- Estrutura do povoamento
- Estrutura espacial do povoamento

3.2 Variáveis externas

- Produtividade da estação

3.3 Variáveis das árvores

- Fase (regeneração, juvenil, adulta)
- Idade, t (o modelo funciona também quando a idade é desconhecida)
- Diâmetro sem cortiça, du
- Diâmetro com cortiça, d

- Altura total, h
- Altura de bifurcação, hb (só para árvores na fase adulta)
- Altura de descortiçamento, hd
- Número de pernadas descortçadas, $nbr1u$
- Diâmetro médio da copa, cw
- Raios da copa, cr (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
- Estado da árvore (viva, morta, desbastada)

3.4 Variáveis da cortiça

- Índice de crescimento da cortiça (ver tarefa 5)
- Qualidade da cortiça (1^a a 3^a , 4^a a 5^a , 6^a , refugo)
- Idade da cortiça, tc
- Número de anéis completos, $tc1$
- Espessura da cortiça em anéis completos, $ct1$
- Calibre, ct
- Tipo de cortiça, tipo (virgem, segundeira, amadia)
- Peso de cortiça virgem, wb_v (só disponível em anos de extracção)
- Peso de cortiça segundeira, wb_s (só disponível em anos de extracção)
- Peso de cortiça amadia, wb_a (só disponível em anos de extracção)

3.5 Coordenadas das árvores

Na versão interactiva do modelo SUBER, ou em qualquer implementação em computador em que se pretenda utilizar índices de competição dependentes da distância, cada árvore tem de ter associada uma coordenada rectangular, a qual define a sua posição na parcela.

Resultados alcançados:

Foram definidas as metodologias a utilizar para a simulação dos vários dados que podem estar em falta. Há um conjunto mínimo de informação, que tem de ser forçosamente fornecido pelo utilizador, e é este conjunto de informação que é descrito em primeiro lugar.

3.1 Informação mínima a fornecer pelo utilizador

Há um conjunto mínimo de informação que tem de ser fornecido pelo utilizador:

- A localização da parcela (concelho ou coordenada UTM);
- O número de árvores por hectare;
- Informação sobre os diâmetros das árvores, de acordo com uma das seguintes alternativas:
 1. distribuição de diâmetros sem cortiça para todas as árvores;
 2. distribuição de diâmetros sem cortiça para árvores adultas e com cortiça para as árvores na fase juvenil;
 3. distribuição de diâmetros com cortiça para as árvores na fase juvenil e distribuição de diâmetros com cortiça + idade da cortiça para as árvores na fase adulta.

Nos pontos seguintes, indica-se, para cada uma das variáveis do modelo SUBER, qual a metodologia que o modelo utiliza quando a informação não é disponibilizada pelo utilizador. É óbvio que a aplicação destas metodologias não é necessária na presença de dados reais.

3.2 Caracterização da parcela

Localização – assume-se a coordenada do centróide do concelho onde se localiza

Área - 4 ha

Forma – quadrada

Dimensões da bordadura – 10 m

Estrutura do povoamento – dispersa e regular

3.3 Produtividade da estação

Quando se desconheça a idade e/ou a altura dominante, a produtividade da estação pode ser determinada a partir de um dos modelos apresentados na tarefa 2. Na falta de outra informação, aplica-se um dos modelos Clima 1 ou Clima 2 com os dados de clima do concelho onde se localiza a parcela.

3.4 Diâmetros das árvores

É fornecida a distribuição de diâmetros sem cortiça para todas as árvores

Havendo informação sobre a distribuição de diâmetros sem cortiça para todas as árvores, pode atribuir-se um diâmetro a cada árvore com base em simulação Monte-Carlo.

Para exemplificar este procedimento, considere-se a seguinte distribuição de diâmetros:

Classe d	Limites	Freq. Absoluta	Freq. relativa	Freq. rel. acum.
10	7.5-12.4	12	0.27	0.27
15	12.5-17.4	20	0.45	0.72
20	17.5-22.4	6	0.14	0.86
25	22.5-27.4	6	0.14	1.00

Procedimentos para a simulação do diâmetro de uma árvore:

1. obter um número aleatório entre 0 e 1

Por exemplo $n_{aleat}=0.70 \rightarrow$ a árvore pertence à classe 15.

2. obter um segundo número aleatório entre 0 e 1 e fazer uma interpolação linear para encontrar o diâmetro da árvore

Por exemplo, $n_{aleat}=0.42$

Faz-se então a seguinte interpolação:

$$\begin{array}{rcl} (17.4 - 12.5) & \text{---} & 1 \\ (x - 12.5) & \text{---} & 0.42 \end{array}$$

Assim, vem que:

$$x = 12.5 + (17.4 - 12.5) 0.42 = 14.558 \approx 14.6$$

Os diâmetros com cortiça são, então, determinados por uma metodologia diferente, consoante se trate de árvores com cortiça virgem ou madura (segundeira ou amadia). Nas árvores com cortiça virgem estima-se a espessura da cortiça com o modelo de Paulo e Tomé apresentado na tarefa 4, enquanto que, nas árvores de cortiça madura, se calcula o diâmetro com cortiça com base na informação, real ou simulada, da espessura da cortiça:

$$d = d_u + 2 \text{ ctdd}$$

Onde ctdd é a espessura da cortiça na árvore (dd indica que é a espessura antes da cozedura). Para “transformar” um calibre após cozedura (ct) em calibre na árvore aplica-se um desconto de 12.6%, o valor médio observado no conjunto de dados utilizado para modelar o índice de crescimento da cortiça:

$$ctbb = \frac{ct}{1.126}$$

É fornecida a distribuição de diâmetros sem cortiça para as árvores adultas e com cortiça para as árvores na fase juvenil

Faz-se a atribuição de uma “diâmetro sem cortiça” a cada árvore adulta, de acordo com a metodologia explicada acima para a distribuição de diâmetros sem cortiça, estimando-se, em seguida, o correspondente diâmetro com cortiça.

Faz-se a atribuição de uma “diâmetro com cortiça” a cada árvore juvenil, de acordo com a metodologia explicada acima para a distribuição de diâmetros sem cortiça.

Em seguida, há que transformar os diâmetros com cortiça em diâmetros sem cortiça. Para tal, utiliza-se a equação de Paulo e Tomé, que se encontra na tarefa 4.

É fornecida a distribuição de diâmetros com cortiça para as árvores na fase juvenil +distribuição de diâmetros com cortiça e idade da cortiça para as árvores adultas

Procede-se para as árvores na fase juvenil como indicado no ponto anterior.

Faz-se a atribuição de uma “diâmetro com cortiça” a cada árvore adulta, de acordo com a metodologia explicada acima para a distribuição de diâmetros sem cortiça. Em seguida, há que transformar os diâmetros com cortiça das árvores adultas em diâmetros sem cortiça. Para tal, é necessário saber, para cada árvore com cortiça segundeira/amadia:

- índice de crescimento da cortiça
- idade da cortiça

Sabendo estas variáveis, utilizam-se as expressões da tarefa 5 para estimar o calibre da cortiça (ct) e, a partir daí, calcula-se a espessura da cortiça na árvore (ctdd) e o diâmetro sem cortiça:

$$du = d - 2 \text{ ct dd}$$

3.5 Outras variáveis da árvore

As restantes variáveis da árvore são obtidas facilmente com base em cálculo por predição, com as equações de predição que fazem parte do modelo, ou por simulação Monte-Carlo, a partir de uma distribuição-tipo:

- Altura total, predita com as relações hipsométricas da tarefa 4.
- Altura de bifurcação, por simulação Monte-Carlo a partir de uma distribuição-tipo, a qual pode ser modificada pelo utilizador
- Altura de descortiçamento, calculada a partir da circunferência à altura do peito e dos coeficientes de descortiçamento legais (virgem: 2.0; segundeira: 2.5; amadia: 3)
- Número de pernadas descortçadas, por simulação Monte-Carlo a partir de uma distribuição-tipo, a qual pode ser modificada pelo utilizador
- Diâmetro médio da copa, predito com as equações de predição apresentadas na tarefa 4.
- Raios da copa, na versão actual do modelo assumem-se copas redondas

3.6 Dados da cortiça

Índice de crescimento e qualidade da cortiça de cada árvore

Os dados da cortiça são simulados a partir das distribuições de calibres e de qualidade. Estas podem ser obtidas com base numa amostragem da qualidade da cortiça ou, caso esta amostragem não tenha sido feita, utilizando-se a distribuição média simulada para o concelho a partir das variáveis climáticas. Assume-se a independência entre o calibre e a qualidade, simulando-se os dois independentemente, e independentemente da dimensão das árvores, recorrendo a simulação Monte-Carlo.

Idade da cortiça, número de anéis completos, espessura em anéis completos e calibre

Assume-se que as árvores foram todas descortçadas no ano da medição. Assim, o número de anéis completos será zero, assim como a espessura da cortiça em anéis completos e o calibre.

Tipo de cortiça

O tipo de cortiça refere-se à cortiça que se vai extrair na próxima extracção. No caso do inventário ser realizado no ano do descortiçamento, o tipo de cortiça refere-se à cortiça extraída no ano do inventário. Na falta de informação de campo, o modelo classifica o tipo de cortiça de acordo com o diâmetro a 1.30 m na altura da última extracção. Há que utilizar as equações de crescimento em diâmetro (tarefa 4) para estimar o diâmetro sem cortiça aquando da última extracção. O tipo de cortiça será então classificado como

1. Cortiça virgem, se o diâmetro sem cortiça aquando da última extracção for inferior a 15.3 cm (usando a equação desenvolvida na tarefa 4, é o diâmetro que corresponde, aproximadamente, a uma circunferência à altura do peito sobre cortiça de 70 cm);
2. Cortiça segundeira, se o diâmetro sem cortiça aquando da última extracção estiver entre 15.3 cm e um valor que depende do índice de qualidade da estação do povoamento: 24.9, 23.4, 21.9, 20.4 ou 18.9, respectivamente para as classes superior, alta, média, baixa ou inferior. Estes limites foram estimados com a equação para o crescimento do diâmetro sem cortiça desenvolvidas na tarefa 4;
3. Cortiça amadia, em todos os outros casos.

3.7 Coordenadas das árvores

As coordenadas são simuladas de acordo com um de dois procedimentos:

- A. Com base em parcelas padrão disponíveis na base de dados do modelo
- B. Por simulação

A. Simulação de coordenadas com base em parcelas padrão

Existe no modelo um conjunto de parcelas de grande dimensão, as quais são baseadas em parcelas reais, também de grande dimensão. As parcelas disponíveis no modelo são quase todas de área superior (da ordem dos 8 ha) à correspondente parcela real (as quais têm áreas entre 2 e 6 ha), tendo sido obtidas pelo método da translação. Nas parcelas padrão conhece-se a coordenada e o diâmetro sem cortiça de cada árvore, uma vez que se procedeu à medição de, pelo menos, diâmetros e coordenadas em todas as parcelas reais em que as parcelas padrão se baseiam.

O utilizador tem acesso à representação gráfica da carta de copas das várias parcelas padrão e selecciona aquela que lhe parece ser mais semelhante com o seu povoamento. A parcela será, então, simulada com base na parcela padrão seleccionada pelo utilizador.

Existem parcelas de estrutura dispersa e parcelas de estrutura alinhada e a simulação é ligeiramente diferente consoante o tipo de estrutura.

Estrutura dispersa:

A simulação é realizada de acordo com um conjunto de etapas:

1. Fazer o “ajustamento” da parcela padrão (ampliação ou redução) de acordo com a distância média entre árvores

Sejam N_p o número de árvores por hectare na parcela padrão e N o número de árvores por ha na parcela a simular. Pode-se, então, calcular a área média por planta em cada caso ($Areapl_p$ e $Areapl$) e as correspondentes distâncias médias entre árvores, $distarv_p$ e $distarv$, respectivamente na parcela padrão e na parcela a simular:

$$distarv_p = \sqrt{\frac{40000}{N_p}}$$

$$distarv = \sqrt{Area \frac{10000}{N}}$$

A relação entre as escalas das duas parcelas é, portanto, igual a:

$$\text{Relação entre as escalas} = \frac{distarv}{distarv_p}$$

Qualquer coordenada da parcela padrão ($coordx_p$ ou $coordy_p$) pode ser “ajustada” para a parcela a simular do seguinte modo:

$$coordx = \frac{distarv}{distrav_p} \quad coordx_p$$

$$coordy = \frac{distarv}{distrav_p} \quad coordy_p$$

Seja o lado da parcela padrão igual a $lado_p$. Depois do ajustamento, o lado da parcela fica igual a:

$$lado = \frac{distarv}{Ddistarv_p} \quad lado_p$$

Ora, a parcela a simular pode ser menor (maior em princípio não será, uma vez que a área a simular terá de conter um número de árvores inferior ao existente na parcela padrão). Vamos agora “sortear” onde começa a parcela a simular, dentro da parcela padrão após ter

sido “ajustada”. O eixo dos XX pode começar em qualquer ponto que fique compreendido entre 0 e (lado_p-lado). Assim, obter um número aleatório entre 0 e (lado_p-lado), o qual será a coordenada X do início da parcela (xini).

Fazer o mesmo para determinar a coordenada Y para o início da parcela (yini). Ficam assim identificadas as posições das árvores que fazem parte da parcela, como todas aquelas que tenham simultaneamente, uma coordx entre xini e xini+lado e uma coordy entre yini e yini+lado. Há sempre que proceder a um pequeno ajustamento no número de árvores da parcela, que não ficará exactamente igual ao pretendido. Se o número de árvores for superior ao pretendido, serão eliminadas as árvores mais pequenas até se obter o número de árvores pretendidas. Pelo contrário, se o número de árvores for inferior ao pretendido, será realizada a simulação aleatória das coordenadas das árvores mais pequenas da parcela.

Falta agora atribuir os diâmetros a cada uma das árvores. Para tal:

- a) ordenar as árvores da parcela padrão, com coordenadas seleccionadas, por ordem decrescente;
- b) ordenar as árvores da parcela a simular por ordem também decrescente;
- c) atribuir à árvore mais pequena da parcela a simular a posição da árvore mais pequena da parcela padrão e assim sucessivamente...Ou seja, as árvores serão atribuídas ao local correspondente à árvore que, na parcela padrão, ocupe a mesma ordem quando ordenadas por ordem de diâmetros.

Estrutura em linhas:

Utiliza-se como padrão uma parcela com um lado igual a lado_p que tem linhas de plantação afastadas aproximadamente de distlinh_p.

O procedimento é praticamente igual ao anterior, apenas o “ajustamento” da parcela é um pouco diferente, para atender à possível diferença na distância entre linhas.

Assim, o ajustamento da coordenada Y é feito com base na distância entre linhas, distlinh e na correspondente distância na parcela padrão (distlinh_p):

$$\text{coordy} = \frac{\text{distlinh}}{\text{distlinh_p}} \text{ coordy_p}$$

Calcula-se agora a distância das plantas na linha (distarv):

$$\text{distarv} = \frac{\text{Area}}{N \text{ distlinh}}$$

Sendo distarv_p a distância das plantas na linha da parcela padrão, pode, então, calcular-se a coordenada X:

$$\text{coordx} = \frac{\text{distarv}}{\text{distarv_p}} \text{ coordx_p}$$

B. Atribuição de coordenadas por simulação

A simulação de parcelas é feita com base nos algoritmos desenvolvidos por Paulo et al. (submetido a publicação). De acordo com este algoritmo, é possível simular seis tipos de povoamentos:

- Aleatória
- Moderadamente regular
- Muito regular
- Posições regulares, diâmetros aleatórios
- Posições aleatórias, diâmetros dependentes das posições
- Agregado

Num povoamento, a dimensão relativa das árvores depende, até certo ponto, da distribuição espacial das árvores, especialmente das distâncias entre árvores. Esta observação levou ao desenvolvimento, por diversos autores, de índices de competição para explicar a variabilidade das características entre árvores (e.g. Daniels et al., 1986; Pukkala e Kolstrom, 1987; Tomé e Burkhart, 1989), assim como à modelação da localização das árvores utilizando processos pontuais (Pretzch, 1997; Tomppo, 1986; Sarkka e Tomppo, 1998). Mais recentemente, tem aparecido um número crescente de estudos a utilizar processos pontuais marcados (*marked point processes*) para estabelecer a ligação entre as características das árvores e a sua distribuição espacial (Stoyan e Penttinen, 2000; Kokkila et al., 2002). No modelo SUBER os povoamentos são simulados por este processo.

Os detalhes para a simulação de cada tipo de povoamento são os seguintes:

1. Povoamentos aleatórios

As posições das árvores são geradas de forma completamente aleatória (distribuição uniforme conseguida por simulação Monte-Carlo) e os diâmetros são atribuídos às árvores de forma também completamente aleatória.

2. Povoamentos moderadamente regulares

Nos povoamentos moderadamente regulares, utiliza-se um algoritmo que simula, em simultâneo, as posições das árvores e os correspondentes diâmetros. Este tipo de povoamento obtém-se por minimização de um índice de competição que depende do diâmetro e da dimensão de pares de árvores. O algoritmo é inspirado no algoritmo de Metropolis-Hastings (Gilks et al., 1996) com uma função de penalização do tipo Gibbs, tal como foi feito também por Kokkila et al. (2002). O algoritmo é o seguinte:

- a). Atribuir coordenadas iniciais $x(0)$ e $y(0)$ a partir de uma distribuição uniforme para as N árvores da parcela;
- b). Atribuir, também de forma aleatória (distribuição uniforme), os diâmetros das árvores, independentemente das suas posições;
- c). Para cada e todas as árvores da parcela, $i=1, 2, \dots, N$, atribuir novas coordenadas candidatas $x(1)$ e $y(1)$, mantendo o diâmetro. Calcular o índice de competição:

$$CI = \alpha \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{d_i d_j}{\text{dist}_{ij}^2},$$

para ambas as localizações $x(0), y(0)$ e $x(1), y(1)$. Se $CI(1) < CI(0)$ então aceitar a nova localização para a árvore i . Caso contrário, aceitar a nova localização com probabilidade

$$p = e^{-(CI(1) - CI(0))}$$

- d). repetir o passo anterior pelo menos 1000 vezes.

A probabilidade de aceitar a nova localização é parcialmente determinada por α , a constante que controla a escala de CI .

Depois de muitos ciclos no passo c), o padrão obtido fica semelhante ao observado em parcelas reais moderadamente regulares, e a correlação entre os diâmetros das árvores e os correspondentes valores de CI é também semelhante à observada em parcelas reais.

3. Povoamentos muito regulares

Para obter um povoamento semelhante ao obtido em 2., mas com uma estrutura mais regular, tem de se aumentar o valor de α . Com maiores valores de α , o padrão tende a ser mais regular, assim como a combinação dos diâmetros com as correspondentes posições.

4. Povoamentos com posições regulares e diâmetros aleatórios

Um povoamento bastante regular, ou seja, com as árvores espaçadas de forma regular, mas com os diâmetros distribuídos de forma aleatória, é obtido com o algoritmo apresentado para os povoamentos do tipo 2, mas com uma diferente formulação do índice de competição

$$CI = \beta \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{1}{\text{dist}_{ij}}$$

Neste índice, β é também uma constante que determina a probabilidade de rejeição de uma nova posição, pelo que permite controlar a regularidade das posições.

5. Povoamentos com posições aleatórias e diâmetros dependentes das posições

Para este tipo de povoamento utiliza-se o seguinte algoritmo:

- Atribuir coordenadas x e y às várias árvores a partir de uma distribuição uniforme;
- Atribuir os diâmetros às árvores, também a partir de uma distribuição uniforme;
- Realizar 200 permutações de diâmetros. Cada permutação corresponde a uma atribuição dos valores de diâmetro às localizações encontradas em a)
- Para cada permutação, calcular o valor do seguinte índice de competição

$$CI = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{d_i d_j}{\text{dist}_{ij}^2}$$

- Escolher a permutação que minimize o valor de CI.

6. Povoamentos agregados

A simulação deste tipo de povoamento é iniciada pela simulação de um processo “pai” uniformemente distribuído, atribuindo em seguida coordenadas para os “filhos” em torno de

cada “pai”. A dimensão dos grupos pode ser controlada pelo utilizador mas, por omissão, consideram-se 20 filhos por grupo, localizados dentro de um círculo com raio de 60 m. O número de “pais” é fixado em função do número de árvores da parcela e do número pretendido de filhos. Para obter uma distribuição regular dentro de cada grupo, utiliza-se o algoritmo apresentado para o povoamento do tipo 5.

Tarefa 4. - Crescimento da árvore individual

Responsável: Margarida Tomé

Objectivos:

4.1 Instalação e monitorização de parcelas permanentes

Um primeiro objectivo parcelar da tarefa era a instalação e monitorização de parcelas permanentes que fornecessem os dados para o desenvolvimento do modelo.

4.2 Identificação e desenvolvimento dos modelos necessários para simular o crescimento das árvores nas diversas fases de crescimento

O objectivo principal desta tarefa era o desenvolvimento de metodologias que permitissem simular o crescimento das árvores nas diversas fases do seu crescimento. Para efeitos de modelação do crescimento das árvores e da produção de cortiça, foi útil considerar quatro estágios de desenvolvimento de uma árvore:

- a fase de regeneração, até que as árvores atingem um diâmetro a 1,30 m igual a 5 cm;
- a fase juvenil, até à extracção da cortiça virgem;
- a fase de segundeira, até à primeira extracção de cortiça amadia;
- a fase de produção, a partir da primeira extracção da cortiça amadia.

Resultados alcançados:

4.1 Instalação e monitorização de parcelas permanentes

No âmbito deste projecto, assim como de outros projectos complementares, está a ser monitorizado um vasto conjunto de parcelas permanentes, com o objectivo de obter dados que permitam melhorar os diversos sub-modelos que compõem o modelo SUBER.

As parcelas instaladas e os correspondentes dados encontram-se organizados na base de dados SUBERDATA (tarefa 1 e ANEXO 1).

4.2 Modelação do crescimento das árvores na fase de regeneração

Na fase de regeneração, apenas é necessário simular o crescimento em altura dominante. O crescimento em altura dominante de árvores na fase de regeneração foi estudado com dados provenientes de ensaios estabelecidos pelo Grupo de Ecofisiologia e Melhoramento Florestal do DEF:

1. Ensaio de proveniências da Mata Nacional das Virtudes

É um ensaio de proveniências, instalado em Março de 1998, plantado a compasso 6X(5+1), com plantas que haviam sido semeadas em Janeiro/Fevereiro de 1997. O delineamento foi em blocos casualizados completos, com 30 blocos, 35 proveniências e 4 plantas de cada proveniência por bloco. Só se acompanharam 16 blocos, em consequência da elevada mortalidade verificada nos restantes. O ensaio foi medido em 1998, imediatamente após a plantação, em Junho de 1999, após da retanchar, e em Novembro de 2003. As proveniências incluídas no ensaio apresentam uma elevada variabilidade no crescimento.

Para efeito de modelação do crescimento das árvores na fase de regeneração, cada bloco foi considerado como sendo uma parcela.

2. Ensaio de descendências da Herdade da Caniceira

É um ensaio de descendências, estabelecido em Fevereiro de 1999 com plantas que haviam sido semeadas em Janeiro de 1997. Neste ensaio estão representadas 5 populações portuguesas (Alcácer do Sal, Ponte de Sôr, S. Brás de Alportel, Azaruja, Besteiros+Albuquerque), estando cada uma das populações representada por 20 famílias. O delineamento experimental utilizado foi o modelo hierarquizado a dois factores com blocos casualizados, em que a população é o factor dominante e a família o factor subordinado. O ensaio é constituído por 20 blocos. Estes estão subdivididos em parcelas que correspondem às populações. Cada família de cada população está representada uma única vez por bloco. A disposição de cada população dentro de cada bloco foi sorteada aleatoriamente, assim como a disposição das famílias dentro de cada população. O ensaio foi medido 2 vezes, em Março de 1998 e em Julho de 2003.

Tal como no ensaio anterior, para efeito de modelação do crescimento, considerou-se cada bloco como sendo uma parcela.

3. Ensaio da Herdade da Apostiça 1

É um ensaio que foi instalado em Dezembro de 1996 com plantas semeadas em Novembro/Dezembro de 1995. A 1ª medição foi realizada 1 mês após a plantação, a 2ª

medição, 13 meses após a plantação e, finalmente, a 3ª medição 31 meses após a plantação.

4. Ensaio da Herdade da Apostiga 2

Ensaio plantado em Março de 1997, com plantas semeadas em Dezembro de 1995. Teve uma 1ª medição em Abril de 1997 e uma 2ª em Abril de 1998.

5. Ensaio da Herdade de Palma

Ensaio instalado em Abril de 1998, com plantas semeadas entre Dezembro de 1995 e Janeiro de 1996. Foi objecto de 4 medições: em Abril de 1998 (à plantação), e 1, 2 e 3 anos após a plantação (1999, 2000 e 2001).

A figura 12 compara o crescimento destes povoamentos portugueses com as curvas de classe de qualidade de González et al. (aceite para publicação). Embora se note uma tendência para que a amplitude de variação das classes seja diferente (em Espanha observaram-se as classes no intervalo de 6 a 14 e em Portugal há observações que corresponderiam a um índice de qualidade da estação de 18), a forma das curvas parece muito semelhante, sugerindo que as curvas espanholas (equação já apresentada na tarefa 2, ponto 3) podem ser utilizadas para simular o crescimento em altura dominante dos povoamentos portugueses.

Face à aderência bastante razoável dos dados portugueses às curvas de qualidade espanholas, optou-se por simular o crescimento em altura dominante com estas curvas. A simulação pode ter início de dois modos alternativos:

1. Existem dados de uma medição

Neste caso, convém que a medição seja efectuada quando as árvores dominantes já tenham uma altura de, pelo menos, 2m, para minimizar o efeito do tamanho inicial das plantas ou das condições particulares dos primeiros anos. Estima-se o índice de qualidade da estação a partir do conhecimento da idade e da altura dominante medida e, a partir daí, segue-se a metodologia explicada nos pontos seguintes.

2. Não existem dados

Neste caso, há que estimar o índice de qualidade da estação com um dos modelos apresentados na tarefa 2 e, a partir daí, simular a distribuição de alturas, tal como explicado no ponto seguinte.

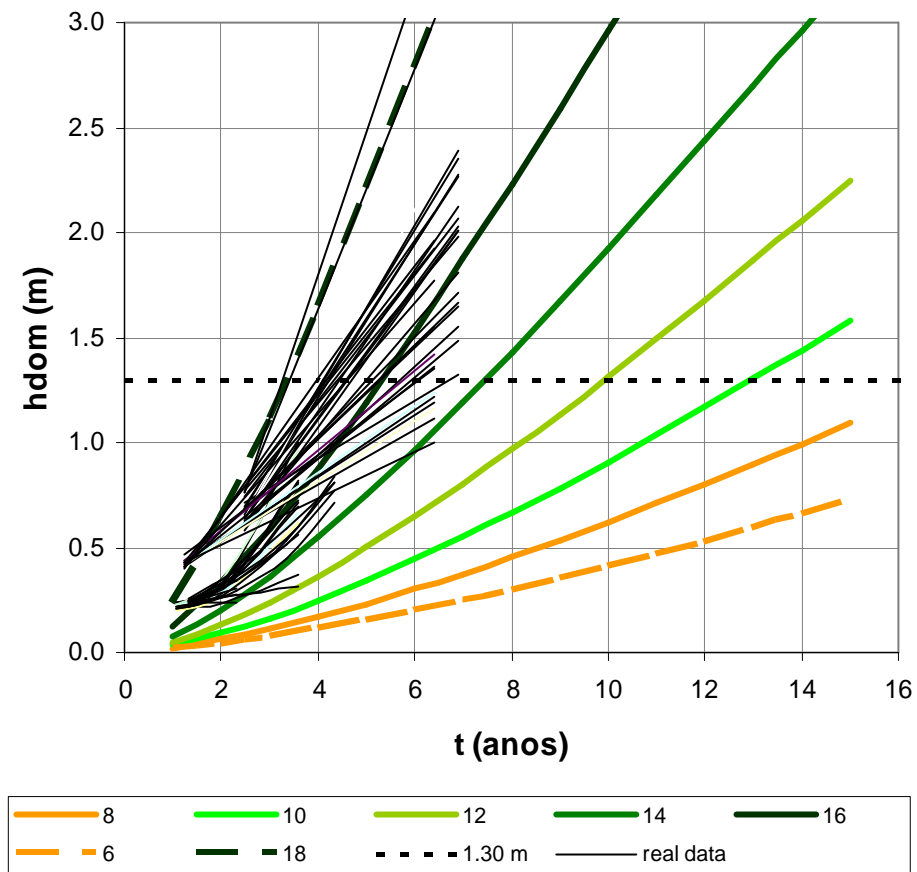


Figura 12. Dados da altura dominante dos ensaios portugueses na fase de regeneração comparados com as curvas de classe de qualidade espanholas (González et al., aceite para publicação).

4.3 Transição entre as fases de regeneração e juvenil

Para simular a transição entre as fases de regeneração e juvenil, optou-se por uma metodologia que se baseia em duas etapas:

1. simulação da distribuição de alturas
2. predição dos diâmetros a partir da altura, da densidade do povoamento e da qualidade da estação

4.3.1 *Simulação da distribuição de alturas em povoamentos de sobreiro na fase de transição entre as fases de regeneração e juvenil*

A simulação da distribuição de alturas pelo método dos momentos necessita do valor de três variáveis: altura mínima (h_{min}), altura média (h_{med}) e percentil 90 da distribuição de alturas (h_{90}). A definição de altura dominante utilizada para o montado de sobreiro (altura média das 20% árvores mais grossas por ha, ou as 20% mais altas na fase de regeneração) implica que, na fase de regeneração, a estimativa da altura dominante corresponda ao percentil 90 da distribuição de alturas.

Para modelar a altura mínima e a altura média, utilizaram-se os dados de 15 das 18 parcelas instaladas em povoamentos juvenis no âmbito deste projecto (as outras apresentavam já árvores demasiado velhas para este estudo), assim como dados de mais 20 parcelas do concelho da Chamusca, os quais foram cedidos pela ACHAR. A tabela 7 caracteriza os dados utilizados no desenvolvimento destes modelos.

Tabela 7. Caracterização dos dados utilizados no desenvolvimento dos modelos para a predição das alturas média e mínima (n=35).

Variável ¹	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
t (anos)	19.2	12.9	8.0	40.0
G ($m^2 ha^{-1}$)	3.2	3.5	0.02	14.52
N (ha^{-1})	154.5	98.8	24.7	389.0
h _{domV} (m)	5.4	1.9	2.1	8.9
h _{medV} (m)	4.4	1.6	2.1	8.0
h _{min} (m)	2.5	0.8	1.0	4.4

¹ Existiam algumas árvores já na fase adulta misturadas nos povoamentos; as variáveis a que se acrescentou V ao nome foram calculadas apenas com as árvores de cortiça virgem

O ajustamento dos modelos foi realizado após uma análise de todas as regressões possíveis, na qual se utilizaram as seguintes variáveis:

Modelo h_{min} : h_{domV}, h_{domV}^{**2}, h_{meanV}, h_{meanV}^{**2}, N e respectivas interacções de todas as variáveis com N

Modelo h_{meanV} : h_{domV}, h_{domV}^{**2}, N e respectivas interacções de N com todas as variáveis

Os resultados destes ajustamentos encontram-se no ANEXO 17. Como se pode ver, a variável N (densidade do povoamento) não foi significativa, indicando que, para as baixas densidades praticadas nas plantações de sobreiro, o crescimento em altura não parece ser afectado pela densidade.

Os modelos seleccionados foram os seguintes:

1. Modelo para a predição de h_{\min} :

$$h_{\min} = 0.77926 + 0.39752 * h_{\text{meanV}} \quad (R^2=0.5588; R^2\text{-aj}=0.5455)$$

2. Modelo para a predição de h_{meanV} :

$$h_{\min} = 0.30869 + 0.75743 * h_{\text{domV}} \quad (R^2=0.8326; R^2\text{-aj}=0.8275)$$

Nestes modelos, h_{\min} é a altura mínima (m), h_{meanV} é a altura média das virgens e h_{domV} é a altura dominante destas últimas.

Tendo em conta os limites de variação dos dados utilizados nos modelos para a predição da distribuição de alturas, esta deve ser realizada quando as árvores dominantes estejam já com um diâmetro à altura do peito próximo do limite legal de extracção. Optou-se, assim, pela seguinte regra:

Regra para a simulação da distribuição de diâmetros com cortiça de povoamentos na transição entre as fases de regeneração e juvenil:

1. Proceder anualmente à actualização da altura dominante;
2. Estimar o diâmetro das árvores dominantes com o modelo apresentado no ponto seguinte;
3. Se o diâmetro das dominantes for inferior a 20 cm, voltar a 1; caso contrário, simular a distribuição de alturas e, a partir daí, estimar o diâmetro de todas as árvores com o modelo do ponto seguinte.

4.3.2 *Equação para a predição de diâmetros de árvores na transição entre as fases de regeneração e juvenil*

O modelo para a predição do diâmetro de árvores na transição entre as fases de regeneração foi ajustado com o mesmo conjunto de dados que os modelos para a predição das alturas mínima e média, mas ao nível da árvore individual. Tendo em vista o objectivo do modelo, predição do diâmetro de árvores quando as dominantes se encontram próximo da desbóia, eliminaram-se dos dados todas as árvores com uma altura superior a 16 m. Uma opção teria sido eliminar todos os dados com um diâmetro superior a 25 cm, mas esta teria implicado a alteração artificial da forma da relação, originado uma relação mais ou menos parabólica, a qual não existe de facto. A tabela 8 caracteriza os dados utilizados no ajustamento, apenas ao nível da árvore, uma vez que os dados ao nível do povoamento já estão caracterizados anteriormente.

Tabela 8. Caracterização dos dados utilizados no desenvolvimento do modelo para a predição do diâmetro de árvores na transição entre as fases de regeneração e juvenil (n=998).

Variável ¹	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
d (cm)	10.1	4.7	0.9	33.4
h (m)	3.7	1.2	1.0	6.0

Os detalhes do ajustamento encontram-se no ANEXO 17. O modelo seleccionado foi o seguinte:

$$d = -8.16726 + 4.52004 \ h + 0.02467 \ N - 0.00653 \ h \ N + 0.33615 \ h_{\text{meanV}}$$

$$(R^2=0.7474; R^2\text{-aj}=0.7464)$$

O modelo é, de certo modo, bastante empírico, não estando claro se o efeito da densidade do povoamento estará correcto, do ponto de vista biológico (a interacção é difícil de analisar), mas optou-se por adoptá-lo. No futuro, será conveniente explorar melhor a relação entre o diâmetro e a altura de árvores na transição entre as fases de regeneração e juvenil.

4.4 Árvores na fase juvenil

O modelo para o crescimento das árvores na fase juvenil tem as seguintes componentes:

1. Crescimento em diâmetro com cortiça
2. Relação hipsométrica
3. Equação para a predição do diâmetro da copa

O desenvolvimento destes modelos faz parte de um artigo submetido para publicação e que se inclui no ANEXO 18. Nos pontos seguintes, limitamo-nos a apresentar os modelos seleccionados para cada uma das componentes, podendo os detalhes sobre a selecção e ajustamento dos modelos ser consultados no ANEXO 18.

4.4.1 Crescimento em diâmetro com cortiça de árvores na fase juvenil

O crescimento em diâmetro é modelado por uma das seguintes equações, consoante se conheça, ou não, o índice de qualidade da estação (S_i):

1. O índice de qualidade da estação não é conhecido

$$id_3 = 0.5922 + 0.0123 \cdot d + 0.2708 \cdot cspac + 0.4441 \cdot \frac{d}{dmax},$$

onde id_3 é o crescimento em diâmetro no período de 3 anos (cm), d é o diâmetro à altura do peito (cm), $cspac$ é o coeficiente de espaçamento (distância média entre árvores a dividir pelo diâmetro médio da copa) e $dmax$ é o diâmetro máximo na parcela (cm).

2. O índice de qualidade da estação é conhecido:

$$id_3 = 0.7356 + 0.0178 \cdot d - 0.0475 \cdot G + 0.0763 \cdot S_i,$$

onde id_3 é o crescimento em diâmetro no período de 3 anos (cm), d é o diâmetro à altura do peito (cm), G é a área basal do povoamento ($m^2 \text{ ha}^{-1}$) e S_i é o índice de qualidade da estação.

4.4.2 Relação hipsométrica

A relação hipsométrica obtida para os povoamentos jovens foi a seguinte:

$$h = 1.3 + e^{0.7676 + 0.7108 \cdot \ln(ddom) + 1.5988 \cdot \ln\left(\frac{N}{d}\right) - 19.3443 \cdot \left(\frac{1}{d}\right)},$$

onde h é a altura da árvore (m), N é a densidade do povoamento (ha^{-1}) e $ddom$ é o diâmetro dominante (cm).

4.4.3 Diâmetro da copa

A equação obtida para o diâmetro da copa das árvores juvenis foi:

$$cw = 0.9508 + (0.0398 + 0.0050 \cdot dg) \cdot d + \left(\frac{0.0190}{dg} \right) d^2,$$

onde cw é o diâmetro da copa (m), d é o diâmetro à altura do peito (cm) e dg é o diâmetro quadrático médio (cm).

4.5 Transição entre as fases juvenil e adulta

A transição entre as fases juvenil e adulta baseia-se em nos seguintes sub-modelos:

1. Determinação do momento da primeira extracção
2. Predição do diâmetro sem cortiça
3. Simulação da altura da bifurcação
4. Simulação do número futuro de pernadas descortiçadas

4.5.1 Determinação da idade da primeira extracção de cortiça

A determinação da idade da primeira extracção de cortiça é bastante importante em povoamentos regulares. De acordo com a legislação portuguesa, só é possível iniciar a extracção de cortiça quando a árvore atinge um perímetro à altura do peito igual a 70 cm. Num povoamento irregular, a regra para se iniciar a extracção de cortiça de uma árvore será simples: em cada ano de descortiçamento, o qual é determinado pela periodicidade de descortiçamento fixada para o povoamento, descorticar todas as árvores virgens que tenham um perímetro à altura do peito superior a 70 cm.

Já nos povoamentos regulares, há que decidir quando se inicia o descortiçamento no povoamento. Em consequência da grande variabilidade verificada na taxa de crescimento das árvores de um mesmo povoamento, a partir de uma determinada idade, um povoamento apresenta uma determinada percentagem de árvores com perímetro superior a 70 cm, enquanto que as restantes ainda não atingiram esse limite. Quando se deve, então, realizar o primeiro descortiçamento? No modelo SUBER utiliza-se, como regra por omissão, iniciar o

desbaste quando 50% das árvores tenha atingido o limite legal para a extração da cortiça. É, contudo, permitido que o utilizador altere este valor.

4.5.2 *Predição do diâmetro sem cortiça*

Sendo o crescimento em diâmetro das árvores nas fases juvenil e adulta baseado na simulação do crescimento, respectivamente, dos diâmetros com e sem cortiça, na fase de transição é necessário “transformar” os diâmetros com cortiça nos correspondentes diâmetros sem cortiça. Para tal, utiliza-se a seguinte equação desenvolvida por Paulo e Tomé (submetido para publicação):

$$d_u = -1.5276 + 0.8321 \cdot d \quad (R^2=0.944)$$

4.5.3 *Simulação da altura de bifurcação*

A simulação da altura da bifurcação é feita com base na hipótese de esta distribuição ser normal para cada classe de diâmetro, até à altura da última poda, e também normal, mas não dependente da classe de diâmetro, a partir daí. A tabela 9 apresenta os elementos necessários para a simulação da altura de bifurcação em cada classe de diâmetro, a qual será feita com base em simulação Monte-Carlo.

Tabela 9. Elementos para a simulação da altura de bifurcação.

Classe d	N dados	média	desvio padrão	mínimo	máximo
]2.5;7.5]	139	1.57	0.40	0.45	2.55
]7.5;12.5]	446	1.90	0.50	0.60	3.90
]12.5;17.5]	629	2.11	0.65	0.45	4.70
]17.5;22.5]	579	2.13	0.68	0.50	4.60
>22.5		2.13	0.66	0.55	4.60

4.5.4 *Simulação do número de pernas descortiçadas*

A distribuição do número de pernas descortiçadas foi analisada com base em 1494 árvores localizadas em diversos pontos do país. Calculou-se, para cada classe de diâmetro, a proporção de árvores com 0/1, 2, 3, 4 e mais do que 5 pernas. A tabela 10 mostra os

resultados obtidos, os quais são ilustrados na figura 14. Devido à baixa frequência de árvores de grandes dimensões, agruparam-se as árvores nas classes 55 e 60 e as árvores nas classes 65 a 110. Em algumas classes foi feito um pequeno ajustamento nas proporções observadas, de modo a manter a lógica entre classes de diâmetro.

Tabela 10. Distribuição do número de pernas descortçadas nas várias classes de diâmetro. Os números representam a proporção de árvores de uma classe de d com um determinado número de pernas. Os números entre parêntesis correspondem àqueles que foram ajustados.

Número de pernas	Classe de diâmetro								
	20	25	30	35	40	45	50	55-60	65-110
0 ou 1	93	91	67	39	20	11	5	3	2
2	6(4)	8(9)	31	44	52	43	30	22	6
3	0(1)	1(0)	2	14	20	25	16	15	8
4	0(1)	0	0	2(0)	5	8	19	20	10
>=5	0(1)	0	0	0(2)	3	13	29	41	75
frequência	178	290	306	237	184	95	73	79	52

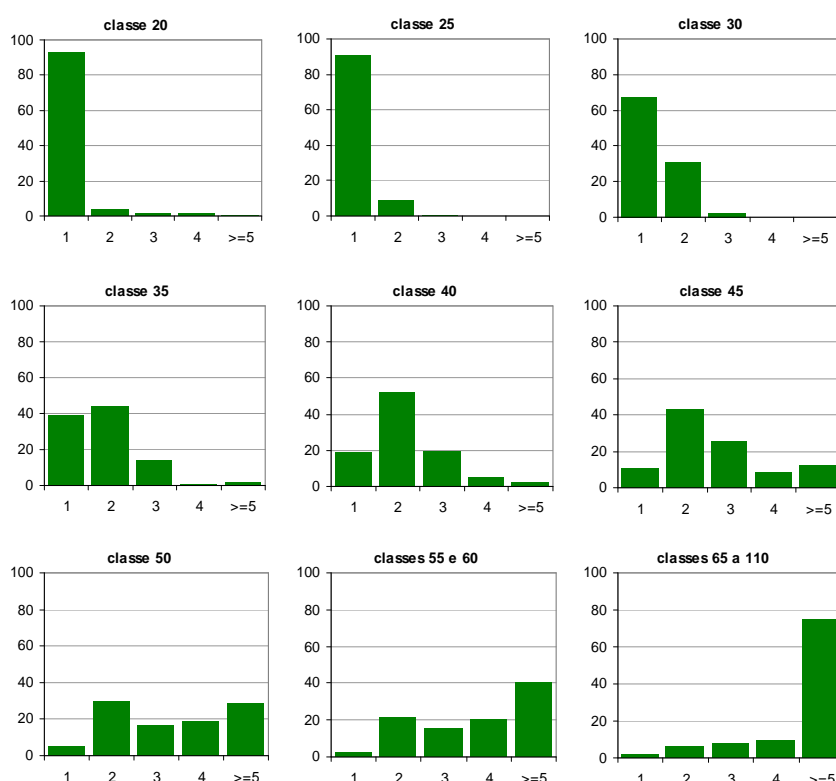


Figura 14. Proporções observadas de árvores em cada classe diâmetro com um determinado número de pernas.

4.6 Árvores adultas

A simulação do crescimento das árvores adultas tem as seguintes componentes:

1. Crescimento em diâmetro sem cortiça
2. Relação hipsométrica
3. Predição do diâmetro da copa

4.6.1 Crescimento em diâmetro sem cortiça

O crescimento em diâmetro sem cortiça é baseado num modelo desenvolvido para árvores dominantes em povoamentos esparsos, com base em dados de análise do tronco de 65 árvores. Este modelo é do tipo “equação às diferenças independente da idade” e encontra-se praticamente concluído um artigo que será submetido para publicação (para mais detalhes sobre esta metodologia veja-se Tomé et al., ANEXO 20).

O modelo desenvolvido é o seguinte:

$$d_{t+a} = 200 \left(1 - e^{-(-0.00173 + 0.000383 \text{ Si}) \left(\frac{1}{(-0.00173 + 0.000383 \text{ Si})} \ln \left(1 - \left(\frac{d_t}{200} \right)^{(1.0819)} \right) + a \right)} \right)^{\frac{1}{1.0819}}$$

onde a é o intervalo de tempo para o qual se pretende simular o crescimento.

Este modelo deve ser utilizado para a simulação do crescimento das árvores dominantes do povoamento. A sua utilização na prática implica uma das seguintes situações:

- i) Se a idade é conhecida, o índice de qualidade da estação pode ser estimado com base nas curvas de classe de qualidade de González et al. (aceite para publicação), desenvolvido para Espanha e que parece ser aplicável a Portugal;
- ii) Se existirem duas medições no mesmo povoamento, o parâmetro livre da equação (parâmetro k) pode ser estimado a partir do modelo geral:

$$k_{Si} = \frac{1}{a} \ln \left(\frac{1 - \left(\frac{Y_i}{A} \right)^{(1-m)}}{1 - \left(\frac{Y_{i+a}}{A} \right)^{(1-m)}} \right)$$

- iii) Se só existir uma medição e a idade não for conhecida, mas se existir informação sobre o solo e/ou o clima (no mínimo o concelho onde se localiza o povoamento), o índice de qualidade da estação pode ser estimado com um dos modelos apresentados na tarefa 2;
- iv) Se só existe uma medição e a idade não for conhecida e se não existir informação sobre o solo e/ou o clima, então o utilizador tem de classificar o seu povoamento numa das cinco classes de qualidade (superior, elevado, médio, baixo, inferior), as quais são equivalentes aos seguintes valores de índice de qualidade da estação: 16, 14, 12, 10, 8.

Num povoamento esparsa de montado de sobro, muito embora existam árvores de variada dimensão, não existe competição suficiente para diminuir o crescimento das árvores, desde que se utilizem coeficientes de espaçamento superiores a 1.2. É este o caso da maioria dos povoamentos portugueses. A variabilidade existente deve-se, forçosamente, à elevada variabilidade genética característica desta espécie. Na versão 4 do modelo SUBER, assume-se que a variabilidade genética se traduz em variabilidade do parâmetro k do modelo acima apresentado. O crescimento em diâmetro das árvores não dominantes do povoamento é, então, feito com uma metodologia diferente, consoante se trate de um povoamento regular ou irregular.

Crescimento em diâmetro de árvores adultas em povoamentos regulares

Num povoamento regular, as árvores têm todas a mesma idade. Se a idade for conhecida é possível determinar k_i , o valor de k para a árvore i , a partir do valor de d_i :

$$k_i = -\frac{1}{t} \ln \left[1 - \left(\frac{d_i}{200} \right)^{1.0819} \right]$$

Aplica-se o mesmo modelo a todas as árvores, mas com um valor diferente para k .

Se a idade não for conhecida, o conhecimento do índice de qualidade da estação permite determinar a idade para as árvores dominantes a partir do conhecimento do valor de k , que corresponde ao índice de qualidade da estação:

$$k_{Si} = -0.001731 + 0.000383 \text{ Si}$$

$$t = -\frac{1}{k_{Si}} \ln \left[1 - \left(\frac{d}{200} \right)^{1.0819} \right]$$

Uma vez estimada a idade das árvores dominantes, determina-se o valor de k para cada árvore.

Crescimento em diâmetro de árvores adultas em povoamentos irregulares

Nos povoamentos irregulares há árvores de várias idades misturadas, pelo que é impossível aplicar a metodologia descrita para os povoamentos regulares. Uma vez determinado o valor de k correspondente ao índice de qualidade da estação (k_{Si}), este valor é considerado como o máximo valor de k que pode ocorrer nessa estação. O valor de k para cada árvore é, então, estimado por simulação Monte-Carlo, assumindo que o mínimo k que pode ocorrer nessa estação será igual a $k_{Si}-50\%$ e uma distribuição uniforme dos valores de k entre k_{Si} e $k_{Si}-50\%$.

É de salientar que, tal como a versão anterior do modelo, esta versão não pressupõe a manutenção de densidades elevadas do povoamento após a fase adulta, uma vez que o modelo de crescimento em diâmetro não inclui a redução no crescimento como resultado da competição intraespecífica.

4.6.2 Relação hipsométrica

A relação hipsométrica baseada no diâmetro sem cortiça foi modelada com base num conjunto de dados, obtido da base de dados SUBERDATA, com 4415 medições. A tabela 11 caracteriza os dados disponíveis para o desenvolvimento deste modelo.

Tabela 11. Caracterização dos dados disponíveis para o desenvolvimento da relação hipsométrica baseada no diâmetro sem cortiça (n=4415).

Variável	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
du (cm)	25.16	15.12	5.20	114.59
h (m)	7.09	3.67	0.90	19.80
N (ha ⁻¹)	128.92	232.36	11.57	2004.76
G (m ² ha ⁻¹)	5.54	5.08	0.27	44.05
hdom (m)	10.53	1.70	5.60	16.97
ddom (cm)	44.31	12.62	18.6	99.47

Seleccionaram-se, como modelos candidatos, várias funções, que têm sido muito utilizadas por diversos autores na modelação de relações hipsométricas noutras espécies (tabela 12). A maior parte delas foi também ensaiada neste projecto para os povoamentos juvenis (ANEXO 18). Nas funções em que essa opção foi possível, o modelo foi ajustado com a opção de prever uma altura igual a 1.30 m quando o diâmetro também é zero (opção B).

Por exemplo, a estrutura das funções de Michailoff e Stoefel e Van Soest não permite esta opção. Em cada modelo foram testadas diversas possibilidades para a expressão dos parâmetros em função de variáveis do povoamento (N, G, hdom, ddom, dmax). Todos os modelos apresentavam sinais de não-normalidade dos resíduos, pelo que se recorreu ao método de Huber.

A comparação dos modelos foi feita com a metodologia utilizada na selecção do modelo para a predição do crescimento em diâmetro das árvores adultas.

A tabela 13 mostra os valores das estatísticas de predição obtidas para cada um dos modelos. Para cada modelo candidato, apenas se apresentam os resultados para a versão relativa à expressão dos parâmetros em função de variáveis do povoamento, com a qual se obtiveram os melhores resultados.

Tabela 12. Modelos candidatos testados para a modelação da altura com base no diâmetro sem cortiça.

Modelo	Expressão matemática
Burkhardt e Strub	$h = e^{b_0 + b_1 \ln(hdom) + b_2 \frac{\ln(N)}{du} + b_3 \frac{1}{du}}$ (eliminando os termos com t)
Burkhardt e Strub, opção B	$h = 1.30 + e^{b_0 + b_1 \ln(hdom) + b_2 \frac{\ln(N)}{du} + b_3 \frac{1}{du}}$ (eliminando os termos com t)
Michailoff modificada por Tomé 1989	$h = hdom e^{\beta \left(\frac{1}{du} - \frac{1}{dudom} \right)}$
Prodan modificada por Tomé 1989, opção A	$h = hdom \left(1 + \beta hdom \left(\frac{1}{du} - \frac{1}{dudom} \right) \right)^{-1}$
Prodan modificada por Tomé 1989, opção B	$h = 1.30 + (hdom - 1.30) \left(1 + \beta (hdom - 1.30) \left(\frac{1}{du} - \frac{1}{dudom} \right) \right)^{-1}$
Stoffels e Van Soest modificada por Tomé 1989	$h = hdom \left(\frac{du}{dudom} \right)^{\beta}$
Harrison	$h = hdom \left(1 + \alpha_1 e^{\alpha_2 hdom} \right) \left(1 - e^{-\beta \frac{du}{hdom}} \right)$

Harrison, opção B	$h = 1.30 + h_{dom} \left(1 + \alpha_1 e^{\alpha_2 h_{dom}} \right) \left(1 - e^{-\beta \frac{du}{h_{dom}}} \right)$
Harrison modificada	$h = h_{dom} \left(1 + \alpha_1 e^{\alpha_2 h_{dom}} \right) \left(1 - e^{-\beta \frac{du}{d_{dom}}} \right)$
Harrison modificada, opção B	$h = h_{dom} \left(1 + \alpha_1 e^{\alpha_2 h_{dom}} \right) \left(1 - e^{-\beta \frac{du}{d_{dom}}} \right)$

A tabela 13 permite concluir que o modelo de Michailoff modificado por Tomé (1989) apresenta um comportamento superior em relação a todos os outros. A relação hipsométrica seleccionada para a nova versão do modelo SUBER foi a seguinte:

$$h = h_{dom} e^{(6.9375 + 7.0068 R_{ddom} - 2.4150 h_{dom}) \left(\frac{1}{du} - \frac{1}{d_{dom}} \right)},$$

onde h é a altura total da árvore (m), h_{dom} é a altura dominante (m), du é o diâmetro sem cortiça (cm), d_{dom} é o diâmetro dominante (cm) e r_{ddom} é o quociente entre o du da árvore e o d_{dom}.

Os coeficientes são todos significativos e apresentam todos os sinais expectáveis do ponto de vista biológico. As variáveis G ou N, quando acrescentadas na expressão do coeficiente, reduziam significativamente a soma de quadrados dos resíduos. Contudo, optou-se por não as incluir no modelo, visto que ambas davam indicação de um aumento da altura nos povoamentos mais densos, facto que não nos parece suportado pelo conhecimento biológico.

4.6.3 Predição do diâmetro da copa

Na versão actual do modelo utiliza-se a equação já apresentada no relatório do 1º ano:

$$cw = 29.927 \left(1 - e^{-\left(0.006444 du + 0.062943 \frac{du}{du_g} \right)} \right),$$

onde cw é o diâmetro da copa em m, du é o diâmetro à altura do peito sem cortiça em cm e du_g é o diâmetro quadrático médio com cortiça em cm.

Tabela 13. Capacidade preditiva dos modelos testados para a modelação da relação hipsométrica em sobreiros com base no diâmetro sem cortiça.

Função	Estatísticas de predição					
	Média rp	Média $ rp $	P95	P5	Mod eff	SSresp
BurkhardtStrub	0.0342	1.2482	2.8070	-2.6102	0.8019	11788.44
BurkhardtStrub-B	-0.0249	1.2450	2.8012	-2.5970	0.8004	11880.13
Michailoff	0.1181	1.0941	2.6276	-2.1287	0.8437	9303.85
Prodan	0.1478	1.4164	3.3401	-2.4991	0.7600	14280.26
Prodan-B	0.0747	1.4867	3.3695	-2.6004	0.7434	15271.67
StoefelVanSoest	-0.4570	1.5272	2.7966	-3.1019	0.7374	15626.50
Harrison	-0.1413	1.4299	2.9612	-2.7424	0.7639	14051.72
Harrison-B	-0.2288	1.5795	3.0644	-2.9812	0.7267	16262.55
Harrison-mod	-0.0765	1.3096	2.9599	-2.6158	0.7872	12666.27
Harrison-mod-B	-0.1768	1.4287	3.0562	-2.8341	0.7611	14220.12

Onde: Média rp é a média dos resíduos press; Média $|rp|$ é a média do valor absoluto dos resíduos press; P95 e P5 são os percentis 95% e 5% da distribuição dos resíduos press e Mod eff é a eficiência de modelação.

Tarefa 5. - Crescimento e produção de cortiça

Responsável: Marta Baptista Coelho

Objectivos:

Esta tarefa reúne os objectivos das tarefas 5 e 6 inicialmente propostas e inclui os seguintes objectivos:

5.1 Modelação do crescimento da cortiça amadia

Pretende-se desenvolver curvas de crescimento da cortiça amadia que permitam a simulação do calibre para diferentes periodicidades de extracção.

5.2 Predição do peso de cortiça virgem

O modelo anterior baseava a predição do peso de cortiça virgem na equação desenvolvida para a cortiça amadia, o que produzia, obviamente, estimativas enviesadas.

5.3 Predição do peso de cortiça amadia para diferentes periodicidades de extracção

A equação utilizada na versão anterior do modelo SUBER fornecia a estimativa do peso seco ao ar de cortiça em função do perímetro à altura do peito e da altura de descortiçamento total. O facto desta equação não utilizar o calibre da cortiça como preditor implicava que a estimativa fornecida para o peso de cortiça de duas árvores da mesma dimensão, mas com cortiça de calibre distinto, fosse igual. Pretende-se, nesta nova versão, testar a significância do calibre na explicação do peso de cortiça.

Pretende-se, também, obter uma equação que utilize, como variável dependente, o peso seco (biomassa) e não o peso seco ao ar.

Um outro possível problema da equação utilizada na versão anterior do modelo relaciona-se com a predição do peso de cortiça para cortiças com idade diferente de nove anos, a qual se baseava na hipótese da constância da densidade da cortiça desde a costa até à barriga, hipótese que se pretendia analisar neste projecto.

5.4 Predição do peso de cortiça virgem proveniente de aumentos da altura de descortiçamento

A versão anterior do modelo SUBER não considerava o peso da cortiça virgem proveniente dos aumentos, estimando o peso de cortiça numa determinada idade em função da correspondente altura de descortiçamento. Ora, isto só é verdade se a altura de descortiçamento se mantiver ao longo do tempo. Havendo aumentos, a cortiça extraída no ano em que se faz o aumento é virgem, pelo que deve ser contabilizada como tal.

Uma outra opção que se pretende incluir na presente versão do modelo é a periodicidade da realização de aumentos que é, na prática, muitas vezes superior à periodicidade de extracção, uma vez que nem sempre vale a pena realizar aumentos demasiado pequenos, podendo esperar-se pela extracção seguinte.

Resultados alcançados:

5.1 Modelação do crescimento da cortiça amadia

Como se sabe, o primeiro e o último ano de crescimento de uma cortiça extraída da árvore são anos de crescimento incompletos (figura 13). A cortiça é extraída quando está em pleno crescimento, facto pelo qual o último ano de crescimento não é completo. Após a extracção, a cortiça ainda reinicia o seu crescimento no resto da estação de crescimento, razão pela qual o primeiro anel de crescimento também não é completo.

No modelo SUBER, a modelação do crescimento da cortiça é feita em duas etapas:

1. Modelação da espessura acumulada em anos completos, função da idade da cortiça e do índice de crescimento da cortiça;
2. “Transformação” da espessura acumulada em anos completos em calibre.

A idade da cortiça, t_c , é definida como o número de anos desde a última extracção da cortiça. O número de anéis completos, igual a $t_c - 1$, é designado por t_{c1} .

Uma outra opção importante, quando se pensa em termos de modelação do crescimento da cortiça, é em relação à utilização da espessura da cortiça antes ou depois de cozer. No modelo SUBER, optou-se por modelar a espessura da cortiça após cozedura. O calibre após cozedura (ct) é, posteriormente, convertido em calibre na árvore ($ctbb$), assumindo um acréscimo de 12.6%:

$$ctbb = \frac{ct}{1.126}$$

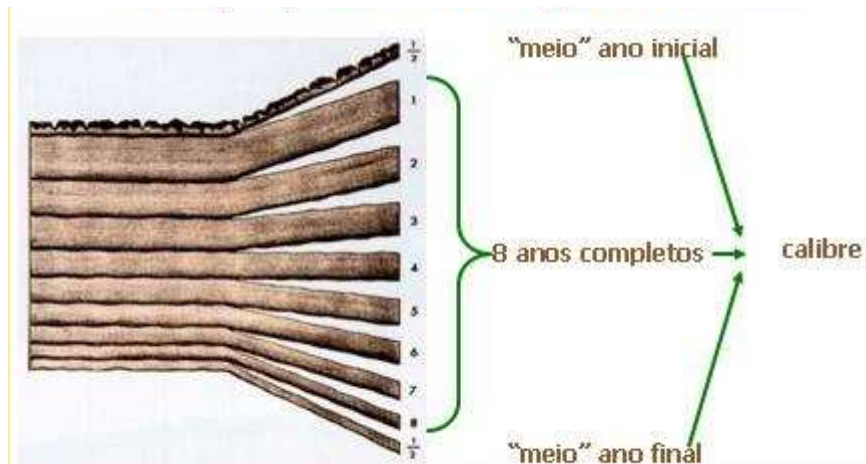


Figura 13. Crescimento de uma cortiça de 9 anos, ilustrando o facto de o 1º e o 9º anos de crescimento não serem completos.

5.1.1 Modelação do crescimento de anos completos

A espessura acumulada de cortiça em i anos completos, $ct1_i$, é predita com base numa equação às diferenças que foi ajustada por Almeida et al. (a submeter para publicação), com dados de medições de anéis de crescimento em 189 amostras de cortiça recolhidas ao nível da altura do peito em diversos locais do país (idades entre 7 e 16 anos), as quais correspondem a 1545 períodos de crescimento disponíveis para a modelação do crescimento:

$$ct1_i = ct1_j \text{ e } 5.167878 \left(\frac{1}{tc1_j^{0.203472}} - \frac{1}{tc1_i^{0.203472}} \right) \quad R^2=0.9926$$

onde $ct1_i$ e $ct1_j$ representam a espessura acumulada ao fim de $tc1_i$ e $tc1_j$ anos completos, respectivamente.

5.1.2 Índice de crescimento da cortiça

Há uma diferença bastante grande entre as taxas de crescimento da cortiça das várias árvores de um mesmo povoamento. Para conseguir modelar esta variabilidade, foi definido o índice de crescimento da cortiça (icc) como a espessura dos primeiros 8 anéis completos da cortiça. A taxa de crescimento da cortiça será, assim, tanto maior quanto maior for o seu

índice de crescimento. O índice de crescimento da cortiça de uma árvore pode ser predito a partir do calibre da cortiça, e vice-versa, com recurso ao modelo para o crescimento da cortiça em anos completos (já apresentado acima), em conjugação com o modelo para a predição do calibre, que se apresenta no ponto seguinte.

5.1.3 Predição do calibre da cortiça a partir da espessura acumulada em anos completos

O calibre de uma cortiça com t_c anos é predito em função da correspondente espessura acumulada ao fim de t_{c1} anos completos, $ct_{1,t_{c1}}$, da sua idade e do seu índice de crescimento. Este modelo foi desenvolvido com base nos dados das 189 amostras de cortiça utilizadas na modelação do crescimento, acrescidas de algumas amostras adicionais, correspondentes a cortiças com idades compreendidas entre 6 e 7 anos:

$$ct_{t_c} = \frac{ct_{1,t_{c1}}}{1 - e^{(0.094632 \cdot ct_{1,t_{c1}} - 0.123873 \cdot icc - 0.119359 \cdot t_{c1})}} \quad (R^2=0.8474)$$

5.1.4 Estimação do índice de crescimento da cortiça

O índice de crescimento pode ser calculado em função do calibre de uma cortiça com t_c anos e da correspondente espessura acumulada em t_{c1} anos completos, com base na inversão da equação de predição do calibre. Uma vez que esta equação depende, ela própria, do índice de crescimento da cortiça e da espessura acumulada em anos completos (que com ele está relacionada), o cálculo terá de ser feito iterativamente. Num primeiro passo, calcula-se um valor preliminar da espessura acumulada em t_{c1} anos com base na equação:

$$ct_{1,t_{c1}} = 2.795040 + 0.737305 \cdot ct_{t_c} \quad (R^2=0.8302)$$

O índice de crescimento da cortiça preliminar pode, então, ser obtido a partir da equação para o crescimento da cortiça:

$$icc1 = ct_{1,t_{c1}} \cdot e^{5.167878 \left(\frac{1}{t_{c1}^{0.203472}} - \frac{1}{8^{0.203472}} \right)}$$

É agora possível utilizar estes valores preliminares de $ct_{tc1,1}$ e de $icc1$ na expressão invertida da equação para a predição do calibre, de modo a obter uma segunda estimativa da espessura em $tc1$ anéis completos:

$$ct_{tc1,2} = ct_{tc} \left(1 - e^{(0.094632 \cdot ct_{tc1,1} - 0.123873 \cdot icc1 - 0.119359 \cdot tc1)} \right)$$

Pode agora calcular-se uma outra estimativa de icc , e assim sucessivamente, até se considerar que os sucessivos valores estimados já estabilizaram. Geralmente, a estabilização verifica-se ao fim de 5 iterações.

5.1.5 Evolução do índice de crescimento da cortiça em sucessivas extracções

De acordo com Natividade (1950), para uma mesma periodicidade de extracção da cortiça, o calibre da cortiça não é constante em extracções sucessivas. No modelo SUBER v1.0 foi desenvolvida uma equação às diferenças que permitia simular a evolução do calibre da cortiça, ao longo de sucessivas extracções. Esta equação, contudo, só pode ser utilizada para periodicidades de extracção de 10 anos ou, pelo menos, próximas desta idade. Com base numa metodologia idêntica, simulou-se uma equação alternativa, mas relativa ao índice de crescimento da cortiça:

$$icc_2 = icc_1 + 0.30725 (t_2 - t_1) - 0.00159 (t_2^2 - t_1^2),$$

onde icc_i é o índice de crescimento da cortiça na idade t_i .

5.2 Predição da biomassa da cortiça virgem

A metodologia para o desenvolvimento do modelo para a predição da biomassa de cortiça virgem está incluída no artigo a submeter para publicação que se encontra no ANEXO 19. O modelo seleccionado foi o seguinte:

$$wb_v = -2.56859 + 0.02740 \cdot hd + 0.00074351 \cdot c^2 \quad (R^2 = 0.65)$$

onde wb_v é o peso seco de cortiça virgem (kg), c é a circunferência sobre cortiça (m) e hd é a altura de descortiçamento (m).

5.3 Predição da biomassa de cortiça amadia para diferentes periodicidades de extracção

O modelo para a predição da biomassa de cortiça amadia para diferentes periodicidades de extracção tem duas componentes:

1. Modelo para a predição do peso seco de cortiça amadia de 9 anos
2. Modelo para a predição do peso seco de cortiça amadia de t anos

5.3.1 Modelo para a predição do peso seco de cortiça amadia de 9 anos

Na presente versão do modelo SUBER, optou-se por construir um modelo que utilizasse as variáveis preditoras com boa capacidade preditiva, não só para o peso de cortiça, mas também com interesse para as simulações a realizar com o modelo:

1. O diâmetro sem cortiça (d_u);
2. A altura de descortiçamento (h_d), a qual permitirá simular o efeito de diferentes coeficientes de descortiçamento;
3. O calibre (ct), o qual permitirá estabelecer a diferença na produção de povoamentos com diferentes distribuições de calibres.

Testaram-se ainda outras variáveis preditoras, que têm sido utilizadas por diversos autores, mas o objectivo principal foi o de que as variáveis acima listadas fizessem parte do modelo final seleccionado. Foram testados os seguintes modelos: i) modelo linear; ii) modelo alométrico; iii) modelo log-linear (ou alométrico linearizado).

Os modelos foram desenvolvidos com base numa amostra de 184 árvores, localizadas nos concelhos de Coruche e Chamusca. A amostra é demasiado localizada mas, de momento, são os únicos dados disponíveis com todas as variáveis necessárias para o ajustamento do modelo, nomeadamente a altura total de descortiçamento. Sendo uma das variáveis preditoras o calibre da cortiça, pensamos, contudo, que a equação produzirá resultados consistentes noutras regiões, uma vez que existe uma correlação bastante razoável entre o índice de crescimento médio e o clima (tal como mostrado na tarefa 2). A tabela 14 caracteriza os dados, ao passo que a tabela 15 mostra os modelos que foram testados. Os resultados das estatísticas de predição utilizados para seleccionar o modelo final (os já utilizados nas tarefas anteriores) encontram-se na tabela 16.

Tabela 14. Caracterização dos dados disponíveis para o desenvolvimento do modelo para a previsão do peso seco de cortiça amadia (n=184).

Variável	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
du (cm)	33.64	10.89	15.60	68.75
hd (m)	3.08	2.06	0.95	12.08
ct (mm)	29.36	8.97	10.76	55.68
nbr1u	1.83	1.36	1.00	7.00

De um modo geral, a variável nbr1u (número de pernadas descortiçadas) não foi significativa, uma vez que os modelos incluíam a altura de descortiçamento total. O modelo linear mostrou um comportamento nitidamente inferior aos restantes, mostrando a não linearidade inerente à relação entre as variáveis em causa. A heterocedasticidade foi aparente em todos os modelos, com excepção do modelo log-linear. Nos restantes modelos recorreu-se, portanto, à regressão ponderada para ultrapassar o problema. Tal como noutros modelos das tarefas anteriores, também no modelo da previsão do peso seco de cortiça houve a necessidade de recorrer ao método de Huber para contornar a não normalidade dos resíduos.

Tabela 15. Modelos candidatos testados para a modelação do peso seco de cortiça amadia.

Modelo	Expressão matemática
Linear	$wb_a = a_0 + a_1 du + a_2 hd + a_3 ct$
Não linear	$wb_a = k du^a hd^b ct^c$
Não linear – B	$wb_a = k (du + 2 ct/10)^a hd^b$
Log-linear	$\ln(wb_a) = a_0 + a_1 \ln(du) + a_2 \ln(hd) + a_3 \ln(ct)$

O modelo seleccionado foi o não linear, pois foi o que apresentou melhores estatísticas de predição:

$$wb_a = 0.0618 du^{1.0418} hd^{0.6527} ct^{0.4588},$$

onde w_{ba} é o peso seco de cortiça amadia (kg), du é o diâmetro à altura do peito sem cortiça (cm), hd é a altura de descortiçamento total (m) e ct é o calibre da cortiça (mm). Se se pretender uma estimativa do peso seco ao ar, basta multiplicar por 1.07.

Tabela 16. Capacidade preditiva dos modelos testados para a predição do peso seco de cortiça amadia.

Função	Estatísticas de predição					
	Média rp	Média rp	P95	P5	Mod eff	SSresp
Linear	0.3725	4.1816	9.7282	-8.6466	0.8825	8617.35
Não linear	0.0530	3.5800	9.1259	-8.2388	0.9261	5422.72
Não linear – B	0.1681	3.6843	8.9412	-8.6904	0.9224	5690.26
Log-linear	-0.1568	4.0529	9.6117	-10.6216	0.9112	6512.93

Onde: Média rp é a média dos resíduos press; Média |rp| é a média do valor absoluto dos resíduos press; P95 e P5 são os percentis 95% e 5% da distribuição dos resíduos press e Mod eff é a eficiência de modelação.

5.3.2 Modelo para a predição do peso seco de cortiça amadia de t anos

Barbato (2004) fez o estudo da variação da massa volúmica da cortiça crua em 36 amostras de cortiça, sendo 18 de cortiça de meia-marca e 18 de cortiça delgada. Neste estudo constatou que a massa volúmica da costa é bastante superior à da restante massa da cortiça, como seria de esperar. Assim, a hipótese de que a cortiça tem uma massa volúmica constante da barriga para a costa não está correcta.

Para modelar o peso de uma cortiça de t anos em função do correspondente peso aos 9 anos, determinou-se, com base nos dados de Barbato (2004), a proporção que a costa representa no peso total da amostra (figura 14). Note-se que Barbato (2004) não individualizou completamente a costa, limitando-se a cortar fatias sucessivas da amostra, considerando-se que a primeira fatia corresponde à costa, ou seja, a identificação e separação da costa não foi muito precisa. Se exceptuarmos as cortiças de meia-marca de boa e média qualidade, poder-se-ia dizer que a proporção de peso de costa diminui com o calibre da cortiça. Para tentar modelar a proporção de costa, utilizou-se, então, uma variável indicatriz para as cortiças boas e médias de calibre meia-marca. O melhor modelo que se conseguiu é o representado na figura 14 e corresponde aos seguintes modelos:

1. Cortiças meia-marca de qualidade boa e média

$$\%w_{\text{costa}} = \frac{ct}{-0.8100 + 0.0482 \ ct}$$

2. Restantes cortiças

$$\%w_{\text{costa}} = \frac{ct}{-0.5716 + 0.0482 \ ct}$$

Note-se que este é um ponto fraco do modelo SUBER. Haverá que investir mais no estudo da proporção que a costa representa no peso total da cortiça. É também de salientar que os dados de Barbato (2004) se referem a cortiça crua, enquanto que as estimativas do SUBER utilizam cortiça cozida.

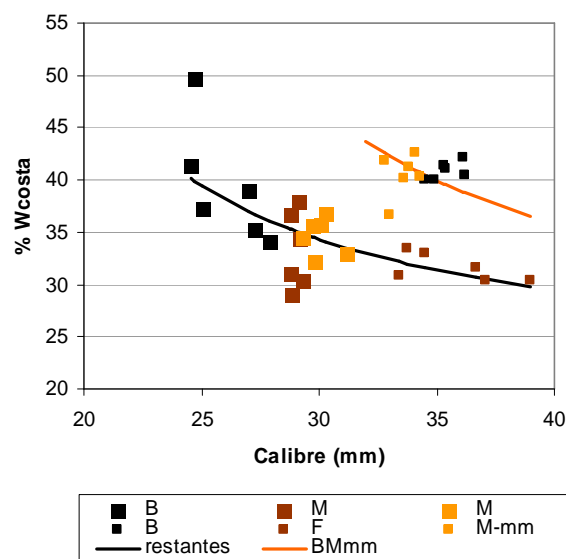


Figura 14. Proporção que a costa representa no peso total das amostras do trabalho de Barbato (2004).

Com base nestes resultados, foi possível encontrar a seguinte metodologia para prever o peso de cortiças com t anos:

1. Estimar o peso da cortiça com 9 anos (w_{b9})
2. Estimar, utilizando a equação acima, a proporção que a costa representa ($\%w_{\text{costa}}$)

3. Estimar o peso de cortiça de 9 anos sem costa (wb_{a9_costa}):

$$wb_{a9_costa} = wb_{a9} \left(1 - \frac{\%w_{costa}}{100} \right)$$

4. Estimar o peso da cortiça de t anos, com base nos calibres ao fim de 9 e de t anos (ct_9 e ct_t)

$$wb_{at} = wb_{a9} \left(1 - \frac{\%w_{costa}}{100} \right) \frac{ct_t}{ct_9} + wb_{a9} \frac{\%w_{costa}}{100}$$

5.4 Predição do peso de cortiça virgem proveniente de aumentos da altura de descortiçamento

A predição do peso de cortiça virgem proveniente de aumentos é feita com a equação para a predição do peso seco de cortiça virgem, assumindo que o diâmetro é de 80 cm e utilizando uma altura de descortiçamento igual à diferença entre as alturas de descortiçamento actual e anterior:

$$wb_{v_aumentos} = -2.56859 + 0.02740 (hd_{actual} - hd_{anterior}) + 0.00074351 \cdot 0.80^2,$$

Onde $wb_{v_aumentos}$ é o peso seco de cortiça virgem proveniente de aumentos, hd_{actual} e $hd_{anterior}$ são as alturas de descortiçamento actual e anterior.

Tarefa 6. – Simulação de práticas culturais

Responsável: Joana Mendes Godinho

Objectivos:

Esta tarefa tem como principal objectivo a definição de regras e algoritmos para a simulação de práticas silvícolas:

1. Definição de regras e correspondentes algoritmos para o desbaste de povoamentos regulares (plantações) e irregulares;
2. Definição de métodos alternativos de regeneração de povoamentos;
3. Análise de outras práticas silvícolas a ter em conta em versões futuras do modelo.

Resultados alcançados:

6.1 Definição de regras e correspondentes algoritmos para o desbaste de povoamentos regulares (plantações) e irregulares

Durante este projecto foram definidos algoritmos para a implementação de desbastes em povoamentos regulares e irregulares, tendo sido considerados algoritmos para o caso em que se conhecem (ou simulam) as coordenadas das árvores e outros para o caso em que se não conhecem.

6.1.1 Algoritmo para o desbaste de povoamentos regulares de coordenadas conhecidas

Foi delineada uma regra para o desbaste de povoamentos regulares com base em índices de competição dependentes da distância (índice de Hegyi). Com base no valor do índice de competição calculado para cada árvore, é calculado um índice de desbaste que contabiliza também a qualidade da cortiça (com pesos fornecidos pelo utilizador).

Sejam:

Icomp – índice de competição

Max Icomp – valor máximo observado do índice de competição

Min Icomp – valor mínimo observado do índice de competição

$$I_{comp_n} = \frac{I_{comp} - \text{Min } I_{comp}}{\text{Max } I_{comp} - \text{Min } I_{comp}} - \text{índice de competição normalizado (varia entre 0 e 1)}$$

Iqual – índice de qualidade (1 – 1^a/3^a; 2 – 4^a/5^a; 3 – 6^a; 4 – refugo)

$$I_{qual_n} = \frac{I_{qual} - 1}{3} - \text{índice de qualidade normalizado (varia entre 0 e 1)}$$

O índice de desbaste será igual a:

$$I_{desb} = w_{comp} I_{comp_n} + w_{qual} I_{qual_n},$$

onde w_{comp} e w_{qual} são pesos atribuídos pelo utilizador.

A selecção das árvores a sair em desbaste baseia-se no valor do índice de desbaste. A intensidade do desbaste é definida pelo utilizador, através da indicação do coeficiente de espaçamento limite. O algoritmo a seguir num povoamento que apresenta um valor de coeficiente de espaçamento ($cspac$) inferior ao pretendido ($cspac_{lim}$) é o seguinte:

1. Calcular o valor do índice de competição para cada árvore;
2. Calcular o valor do índice de desbaste para cada árvore;
3. Seleccionar para “abate” a árvore com maior valor do índice de desbaste e eliminá-la;
4. Calcular o coeficiente de espaçamento ($cspac$):
 - a. Se $cspac < cspac_{lim}$, então voltar a 1.
 - b. Se $cspac \geq cspac_{lim}$, terminar o desbaste.

Note-se que, após o “abate” de uma árvore, o índice de desbaste tem de ser recalculado, visto que o abate de uma árvore altera o valor dos índices de competição das árvores da vizinhança da árvore desbastada.

6.1.2 Algoritmo para o desbaste de povoamentos irregulares de coordenadas conhecidas

A regra de desbastes de povoamentos regulares baseia-se na definição da sequência normal pretendida, a qual é definida pelo utilizador através da indicação de:

- Coeficiente de espaçamento limite ($cspac_{lim}$)
- Diâmetro limite, ou seja, o valor central da classe de diâmetro a partir da qual se considera que uma árvore deve ser abatida

A sequência normal – número de árvores pretendido em cada classe de diâmetro – é definida pelo seguinte processo:

1. Calcula-se a área de coberto por hectare (A_{cover}) que corresponde ao coeficiente de espaçamento limite:

$$cspac_{lim} = \frac{\overline{distarv}}{\overline{cw}} \Rightarrow \overline{cw} = \frac{\overline{distarv}}{cspac_{lim}} = \sqrt{\frac{10000}{N}} \frac{1}{cspac_{lim}}$$

$$A_{cover} = N \frac{\pi \overline{cw}^2}{4} = N \frac{\pi}{4} \frac{10000}{N} \frac{1}{cspac_{lim}^2} = 2500 \pi \frac{1}{cspac_{lim}^2}$$

2. Com base no diâmetro limite, sabe-se quantas classes de diâmetro constituem a sequência normal;
3. Calcula-se a área de coberto por classe de diâmetro, assumindo-se que todas as classes de diâmetro têm a mesma área de coberto;
4. Com as equações apresentadas na tarefa 4, estima-se o diâmetro médio da copa de uma árvore em cada classe de diâmetro e a correspondente área de copa;
5. Estima-se o número de árvores em cada classe de diâmetro, dividindo a área de coberto por classe pela área de copa média da classe. Para tornar o desbaste mais real, toma-se, não o número de árvores calculado por este processo, mas sim este valor com um desvio até 10%, sendo este simulado com base na distribuição uniforme de valores entre -10% e +10%.

Uma vez encontrada a sequência normal, inicia-se o desbaste, com um algoritmo semelhante ao aplicado nos povoamentos regulares, mas em que a condição para terminar o desbaste é dada pelo facto de se ter atingido, em todas as classes de diâmetro, o número de árvores pretendido:

1. Calcular o valor do índice de competição para cada árvore
2. Calcular o valor do índice de desbaste para cada árvore
3. Seleccionar para “abate” a árvore com maior valor do índice de desbaste
 - a. Se o número de árvores pretendido para a classe de diâmetro a que a árvore pertence ainda não tiver sido atingido, abater a árvore e voltar a 1.

- b. Se o número de árvores pretendido para a classe de diâmetro a que a árvore pertence já tiver sido atingido, “trancar” a classe e voltar a 1.
- c. Se o número de árvores pretendido em todas as classes de diâmetro já tiver sido atingido, terminar o desbaste.

6.1.3 Algoritmo para desbaste de povoamentos regular quando as coordenadas não são conhecidas

Em muitas implementações computacionais, é conveniente não utilizar os algoritmos apresentados acima, uma vez que a sua aplicação é bastante demorada, face ao número de vezes que há que recalcular os valores dos índices de competição para todas as árvores da parcela.

Para definir um algoritmo de desbaste independente da distância entre árvores, ou seja, que não exija o conhecimento das coordenadas das árvores, recorreu-se ao programa Visual Basic, no qual a versão 3 do modelo SUBER foi implementada, no 1º ano do projecto. Seleccionou-se, da base de dados SUBERDATA, um conjunto de parcelas destacadas, não só por serem de grande dimensão, mas também porque foram consideradas como sendo representativas das diversas situações que podem ocorrer. Estas parcelas foram utilizadas para inicializar o modelo SUBER, o qual foi posto a “correr” com diferentes opções em termos de intensidade de desbaste e de pesos w_{comp} e w_{qual} . Os resultados fornecidos pelas diversas simulações de desbaste realizadas pelo modelo foram, então, utilizados para ajustar um modelo logístico para prever a probabilidade de uma árvore ser desbastada. Os detalhes sobre este estudo encontram-se no ANEXO 21. O modelo seleccionado foi o seguinte:

$$\pi = -3.9800 + 0.00776 \text{ du} + 6.8988 \text{ Rdm} - 12.6742 \text{ RCE},$$

onde du é o diâmetro à altura do peito (cm), Rdm é o quociente entre du e o diâmetro quadrático médio e RCE é uma medida da intensidade do desbaste que vai ser realizado:

$$\text{RCE} = \frac{\text{cspac}_{lim} - \text{cspac}}{\text{cspac}_{lim}}$$

Com base neste modelo logístico, foi, então, concebido o seguinte algoritmo:

1. Calcular a probabilidade de cada árvore ser seleccionada para sair em desbaste;
2. Obter um número aleatório para cada árvore; se este número for inferior à probabilidade calculada de a árvore ser seleccionada para sair em desbaste, ela fica pré-seleccionada para sair;

3. Ordenar todas as árvores pré-seleccionadas para sair em desbaste, por ordem decrescente da respectiva probabilidade de sair em desbaste;
4. Seleccionar as árvores de acordo com esta ordenação, até atingir o coeficiente de espaçamento limite;
5. Se todas as árvores pré-seleccionadas para sair em desbaste tiverem sido desbastadas, sem que o coeficiente de espaçamento limite tenha sido atingido, repetem-se as operações desde o ponto 2, agora apenas com as árvores que ainda não tenham sido seleccionadas para sair.

6.2 Definição de métodos alternativos de regeneração de povoamentos

Foram definidos dois métodos alternativos para a regeneração de povoamentos:

1. Regeneração natural durante t anos (implica a ausência de gado durante os t anos em que se procede à regeneração natural), sendo o número de árvores regeneradas por hectare seleccionado pelo utilizador;
2. Regeneração artificial, sendo o número de árvores a semear ou plantar fixado pelo utilizador, podendo ser considerada uma taxa de mortalidade e uma retanchar.

O desenvolvimento das novas árvores será simulado de acordo com as equações apresentadas na tarefa 4.

6.3 Análise de outras práticas silvícolas a ter em conta em versões futuras do modelo.

As práticas silvícolas que, neste momento, é possível aplicar com o modelo SUBER são:

1. Periodicidade do descortiçamento na árvore e no povoamento;
2. Altura da desbóia em povoamentos regular na fase juvenil;
3. Regeneração;
4. Variações do coeficiente de descortiçamento, embora o possível efeito de coeficientes de descortiçamento excessivos no crescimento da cortiça (ou eventualmente no crescimento da árvore) não possa ser tido em conta.

Infelizmente, e por motivos alheios aos investigadores deste projecto, não foi possível obter os dados relativos ao ensaio de descortiçamento a que se fez referência no relatório do 1º ano, visto o ensaio ter sido vítima dos incêndios florestais de 2003.

Tarefa 7. - Interfaces computacionais

Responsável: Margarida Tomé

Objectivos:

O objectivo desta tarefa é a integração das novas componentes do modelo em interfaces computacionais que permitam a sua utilização.

Tal como foi oportunamente comunicado à FCT, a verba que havia sido considerada para a realização de um programa interactivo, amigável ao utilizador, e de aspecto visual agradável, teve de ser eliminada, face aos elevados cortes orçamentais impostos ao projecto. Mesmo assim, dispõe-se, no final do projecto, de duas aplicações:

1. Versão interactiva do modelo SUBER 3.0;
2. Versão de trabalho implementada do software SÃS.

Prevê-se para breve o desenvolvimento de uma versão interactiva para a nova versão do modelo.

Resultados alcançados:

7.1 Versão interactiva do modelo SUBER 3.0

O modelo SUBER 3.0 foi implementado em suporte informático (Visual Basic), numa versão de demonstração, por contratação dos serviços da empresa Silviconsultores. Esta versão de demonstração permite a simulação de uma parcela de cada vez. Encontra-se no anexo 22 o manual de utilização da versão de demonstração do modelo SUBER 3.0.

Foi também dada autorização à Federação Nacional dos Produtores Florestais de Portugal para divulgar uma versão simplificada do modelo SUBER 3.0 (junta-se em anexo uma cópia do CD e manual que foram divulgados pela FNPFP).

7.2 Versão de trabalho implementada no software SAS

Pensou-se inicialmente na implementação da nova versão do SUBER em Fortran 90, linguagem que seria exigida (ou qualquer outra linguagem de programação) para a implementação dos algoritmos de desbaste com coordenadas conhecidas. O desenvolvimento dos algoritmos independentes da distância levou-nos a optar, nesta fase,

por implementar a nova versão do SUBER no software SAS. O programa, que designámos por SUBER-SAS, tem as seguintes funcionalidades:

1. Permite, a partir de dados de um inventário florestal, simular uma “parcela média”, a qual será a base de todas as simulações;
2. Alternativamente, permite simular conjuntamente todas as parcelas medidas, sendo os resultados produzidos calculados como médias (e respectivos intervalos de confiança) para os valores simulados de cada parcela;

O SUBER-SAS foi essencial para a análise da lógica do modelo, assim como para a detecção da necessidade de alguns módulos que não haviam sido inicialmente previstos. Será também essencial para a validação da versão interactiva da nova versão do SUBER, a qual se prevê para muito breve.

As tabelas 18 e 19 resumem as várias equações que constituem o modelo SUBER.

Tabela 18. MODELO SUBER v4.0 - funções de crescimento e predição das variáveis da árvore e do povoamento (1/4).

Descrição	Equação e referência
<p>Curvas de classe de qualidade</p> <p>hdom₁ e hdom₂ – alturas dominantes às idades t₁ e t₂ (m)</p>	$hdom_2 = \frac{20.7216}{1 - \left(1 - \frac{20.7216}{hdom_1}\right) \left(\frac{t_1}{t_2}\right)}$ <p>Autor: González et al. (aceite para publicação)</p>
<p>Predição do índice de qualidade da estação</p> <p>Si – índice de qualidade da estação; lit_areias – variável indicatriz de mdnc ou agc; EspUtil – espessura útil do solo (cm); Esphs – espessura do horizonte superficial (cm); insol – insolação (h); tempm – temperatura média (°C); prin2 – 2ª comp. Princ. Da ACP de Ribeiro e Tomé (2000)</p>	<p>Modelo 1: $Si = 26.63463 + 1.82950 \text{ lit_areias} - 73.91054 \frac{1}{EspUtil} - 0.00423 \text{ insol}$</p> <p>Modelo 2: $Si = 33.66346 + 2.14654 \text{ lit_areias} - 36.36852 \frac{1}{Esphs} - 0.00653 \text{ insol}$</p> <p>Modelo 3: $Si = 35.98420 + 2.81039 \text{ lit_areias} - 0.00816 \text{ insol}$</p> <p>Modelo 4: $Si = 58.52373 - 2.77821 \text{ tempm} - 0.84013 \text{ prin2}$</p> <p>Autor: desenvolvido neste projecto</p>
<p>Simulação da distribuição de alturas e do diâmetro em povoamentos na transição entre as fases de regeneração e juvenil</p> <p>h_{min} – altura mínima (m); h_{meanV} – altura média das virgens (m); hdom_V – altura dominante das virgens (m); d – diâmetro a 1.30 m (cm); h – altura total (m); N – número de árvores por hectare (ha⁻¹)</p>	$h_{min} = 0.77926 + 0.39752 \text{ h}_{medV}$ $h_{meanV} = 0.30869 + 0.75743 \text{ hdom}_V$ $h_{p90} = hdom_V$ $d = -8.16726 + 4.52004 \text{ h} + 0.02467 \text{ N} - 0.00653 \text{ h N} + 0.33615 \text{ h}_{meanV}$ <p>Autor: desenvolvido neste projecto</p>

Tabela 18. MODELO SUBER v4.0 - funções de crescimento e predição das variáveis da árvore e do povoamento (2/4).

Crescimento em diâmetro das árvores juvenis	Si conhecido:	$id = \frac{1}{3} \left(0.7356 + 0.0178 \ d - 0.0475 \ G + 0.0763 \ Si \right)$
id – crescimento anual em diâmetro (cm); d – diâmetro a 1.30 m (cm); G – área basal (m ² ha ⁻¹); dmax – diâmetro máximo (cm)	Si desconhecido:	$id = \frac{1}{3} \left(0.5922 + 0.0123 \ d + 0.2708 \ cspac + 0.4441 \ \frac{d}{dmax} \right)$
	Autor: Paulo e Tomé (submetido a publicação A), trabalho originado neste projecto	
Relação hipsométrica para povoamentos jovens		$h = 1.3 + e^{0.7676 + 0.7108 \ \ln(ddom) + 1.5988 \ \ln\left(\frac{N}{d}\right) - 19.3443 \ \left(\frac{1}{d}\right)}$
ddom – diâmetro dominante (cm); N – número de árvores por hectare (ha ⁻¹); d – diâmetro a 1.30 m (cm)	Autor: Paulo e Tomé (submetido a publicação A) , trabalho originado neste projecto	
Predição do diâmetro da copa em povoamentos juvenis		$cw = 0.9508 + \left(0.0398 + 0.0050 \ dg \right) d + \left(\frac{0.0190}{dg} \right) d^2$
cw – diâmetro da copa (m); d – diâmetro a 1.30 m (cm); dg – diâmetro quadrático médio (cm)	Autor: Paulo e Tomé (submetido a publicação A) , trabalho originado neste projecto	
Predição do diâmetro sem cortiça		$du = -1.5276 + 0.8321 \ d$
du – diâmetro a 1.30 m sem cortiça (cm); d – diâmetro a 1.30 m (cm)	Autor: Paulo e Tomé (submetido a publicação B) , trabalho originado neste projecto	

Tabela 18. MODELO SUBER v4.0 - funções de crescimento e predição das variáveis da árvore e do povoamento (3/4).

Crescimento em diâmetro sem
cortiça em árvores adultas

d_{t+a} – diâmetro a 1.30 m no instante
 $t+a$ (cm); d_t – diâmetro actual a 1.30
m; k_{Si} – k para as árvores dominantes
localizadas num povoamento com
índice de qualidade da estação S_i ; k_i
– valor de k para a árvore i ; d_i -
diâmetro a 1.30 para a árvore i (cm);
 $ddom_t$ – diâmetro dominante no
instante t (cm); $ddom_{t+a}$ – diâmetro
dominante no instante $t+a$ (cm)

$$d_{t+a} = 200 \left(1 - e^{-k \left(-\frac{1}{k} \ln \left(1 - \left(\frac{d_t}{200} \right)^{1.0819} \right) + a \right)} \right)^{\frac{1}{1.0819}}$$

A. Povoamentos regulares

$$t \text{ conhecida} \rightarrow k_i = -\frac{1}{t} \ln \left[1 - \left(\frac{d_i}{200} \right)^{1.0819} \right]$$

$$S_i \text{ conhecido} \rightarrow k_{Si} = -0.00173 + 0.000383 S_i$$

$$t \text{ desconhecida, mas 2 medições} \rightarrow k_{Si} = \frac{1}{a} \ln \left(\frac{1 - \left(\frac{ddom_t}{A} \right)^{(1-m)}}{1 - \left(\frac{ddom_{t+a}}{A} \right)^{(1-m)}} \right)$$

$$t \text{ desconhecida, mas } S_i \text{ conhecido ou estimado: } t = -\frac{1}{k_{Si}} \ln \left[1 - \left(\frac{d}{200} \right)^{1.0819} \right]$$

B. Povoamentos irregulares

Estimar k_{Si} , em seguida simular o k para cada árvore assumindo uma distribuição uniforme no intervalo k_{Si} -
50% a k_{Si} (simulação Monte-Carlo)

Autor: Tomé et al. (a submeter a publicação) , trabalho originado neste projecto

Tabela 18. MODELO SUBER v4.0 - funções de crescimento e predição das variáveis da árvore e do povoamento (4/4).

Relação hipsométrica para povoamentos adultos

$$h = h_{dom} e^{\left(6.9375 + 7.0068 \frac{R_{ddom}}{h_{dom}} - 2.4150 \frac{du}{h_{dom}}\right) \left(\frac{1}{du} - \frac{1}{du_{dom}}\right)}$$

h – altura total (m); h_{dom} – altura dominante (m); R_{ddom} – quociente entre du e d_{dom}; du – diâmetro sem cortiça a 1.30 m (cm); d_{dom} – diâmetro dominante sem cortiça (cm)

Autor: desenvolvido neste projecto

Predição do diâmetro da copa em povoamentos adultos

$$cw = 29.927 \left(1 - e^{-\left(0.006444 du + 0.062943 \frac{du}{du_g}\right)} \right)$$

cw – diâmetro da copa (m); du – diâmetro sem cortiça a 1.30 m (cm); du_g – diâmetro quadrático médio sem cortiça (cm)

Autor: Tomé et al. (2001), 1º relatório deste projecto

Tabela 19. MODELO SUBER v4.0 - funções de crescimento e predição para a cortiça ao nível da árvore e do povoamento (1/4).

Descrição	Equação e referência
<p>Simulação da distribuição de calibres esperada para um local</p> <p> $icc_{mean} = 12.26900 + 0.18051 \text{ dprec} - 1.24931 \text{ prin2}$ $icc_{min} = -113.75346 + 0.88611 \text{ rad} - 3.89087 \text{ prin1}$ </p> <p> icc_{mean} – valor médio do icc (mm); icc_{min} – valor mínimo do icc (mm); dprec – número de dias com precipitação; prin1 e prin2 – 1ª e 2ª componentes principais da ACP de Ribeiro e Tomé (2000); rad – radiação (kcal cm^{-2}); tempm – temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) </p> <p>Autor: desenvolvido neste projecto</p>	
<p>Crescimento da cortiça amadia</p> <p> $ct1_i$ e $ct1_j$ – espessura da cortiça (mm) em anos completos nos instantes $tc1_i$ e $tc1_j$ (anos) </p> <p> $ct1_i = ct1_j \cdot e^{5.167878 \left(\frac{1}{tc1_j^{0.203472}} - \frac{1}{tc1_i^{0.203472}} \right)}$ </p> <p>Autor: Tomé et al. 2001, relatório do 1º ano deste projecto</p>	
<p>Índice de crescimento da cortiça (icc)</p> <p> $icc = ct1 \cdot e^{5.167878 \left(\frac{1}{tc1^{0.203472}} - \frac{1}{8^{0.203472}} \right)}$ </p> <p>ec -mm; tc-anos</p> <p>Autor: Tomé et al. 2001, relatório do 1º ano deste projecto</p>	

Tabela 19. MODELO SUBER v4.0 - funções de crescimento e predição para a cortiça ao nível da árvore e do povoamento (2/4).

Predição do calibre da cortiça em função da espessura acumulada em anéis completos

$$ct_{tc} = \frac{ct1_{tc1}}{1 - e^{(0.094632 \cdot ct1_{tc1} - 0.123873 \cdot icc - 0.119359 \cdot tc1)}}$$

ct_{tc} – calibre da cortiça com tc anos (mm); tc - idade da cortiça (anos); $tc1$ – número de anos completos (anos); $ct1_{tc1}$ – espessura em $tc1$ anos completos (mm)

Autor: Tomé et al. 2001, relatório do 1º ano deste projecto

Equação de inicialização da espessura acumulada em anéis completos ($ec1$)

$$ct1_{tc1,1} = 2.795040 + 0.737305 \cdot ct_{tc}$$

$ct1_{tc1}$ – valor inicial para a espessura em $tc1$ anos completos (mm); ct_{tc} – calibre com tc anos

Autor: Tomé et al. 2001, relatório do 1º ano deste projecto

Estimação do índice de crescimento da cortiça

$$icc_i = ct1_{tc1,i} \cdot e^{5.167878 \left(\frac{1}{tc1^{0.203472}} - \frac{1}{8^{0.203472}} \right)}$$

icc_i – i-ésima estimativa do icc (mm); $ct1_{tc1,i}$ – i-ésima estimativa da espessura em $tc1$ anos completos (mm); $tc1$ – número de anos completos (anos)

$$ct1_{tc1,i+1} = ct_{tc} \left(1 - e^{0.094632 \cdot ct1_{tc1,i} - 0.123873 \cdot icc_i - 0.119359 \cdot tc1} \right)$$

Autor: Tomé et al. 2001, relatório do 1º ano deste projecto

Tabela 19. MODELO SUBER v4.0 - funções de crescimento e predição para a cortiça ao nível da árvore e do povoamento (3/4).

Evolução do índice de crescimento da cortiça $icc_2 = icc_1 + 0.30725 (t_2 - t_1) - 0.00159 (t_2^2 - t_1^2)$

icc_t - índice de crescimento da cortiça no ano t_i (mm); t_i - idade (anos)

Autor: Tomé et al. 2001, relatório do 1º ano deste projecto

Peso seco de cortiça virgem

$$wb_v = -2.56859 + 0.02740 \text{ hd} + 0.00074351 \text{ c}^2$$

wb_v - peso seco de cortiça virgem (kg); c - circunferência à altura do peito sobre cortiça (m); hd - altura de descortiçamento (m)

Paulo e Tomé (a submeter para publicação A) , trabalho originado neste projecto

Peso seco ao ar de cortiça amadia e segundeira de 9 anos

$$wb_{ag} = 0.0618 \text{ du}^{1.0418} \text{ hd}^{0.6527} \text{ ct}^{0.4588}$$

wb_{ag} - peso seco ao ar de cortiça com 9 anos (kg); du - diâmetro a 1.30 m (cm); hd - altura de descortiçamento total (m); ct - calibre da cortiça cozida (mm)

Autor: desenvolvido neste projecto

Tabela 19. MODELO SUBER v4.0 - funções de crescimento e predição para a cortiça ao nível da árvore e do povoamento (4/4).

Percentagem da costa, em peso, numa cortiça de 9 anos

Cortiças meia-marca de qualidade boa e média: $\%w_{\text{costa}} = \frac{ct}{-0.8100 + 0.0482 \ ct}$

$\%w_{\text{costa}}$ – percentagem de peso da costa em wb_{a9} ; ct – calibre da cortiça cozida (mm)

Restantes cortiças: $\%w_{\text{costa}} = \frac{ct}{-0.5716 + 0.0482 \ ct}$

Autor: desenvolvido neste projecto

Peso seco ao ar de cortiça amadia e segundeira de t anos

$wb_{at} = wb_{a9} \left(1 - \frac{\%w_{\text{costa}}}{100} \right) \frac{ct_t}{ct_9} + wb_{a9} \frac{\%w_{\text{costa}}}{100}$

wb_{a9} e wb_{at} – peso seco ao ar de cortiça com 9 e t anos respectivamente (kg); $\%w_{\text{costa}}$ – percentagem de peso da costa em wb_{a9} ; ct_t e ct_9 – calibre da cortiça cozida (mm)

Autor: desenvolvido neste projecto

Peso seco de cortiça virgem proveniente de aumentos

$wb_{v_aumentos} = -2.56859 + 0.02740 \ (hd_{\text{actual}} - hd_{\text{anterior}}) + 0.00074351 \ 0.80^2$

$wb_{v_aumentos}$ - peso seco de cortiça virgem proveniente de aumentos (kg); hd_{actual} e hd_{anterior} – alturas de descortiçamento actual e anterior (m)

Autor: desenvolvido neste projecto

Referências bibliográficas

- Barbato, F. A., 2004. Variação radial da densidade e da porosidade em pranchas de cortiça. Trabalho de Fim do Curso de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal.
- Clutter, J.L., *et al.*, 1983. *Timber Management – a quantitative approach*. Krieger, Malabar, Florida, EUA.
- Daniels, R.F. *et al.*, 1986. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 16, pp.1230-1237.
- D.G.F., 1990. *Inventário Florestal do Sobreiro. Estudos e Informação*, nº 300. Direcção Geral das Florestas. Lisboa.
- Diéguez Aranda, U., 2004. *Modelo dinámico de crecimiento para masas de Pinus sylvestris L. procedentes de repoblación en Galicia*, Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Espanha.
- Fonseca, T.J.F., 2004. *Modelação do crescimento, mortalidade e distribuição diamétrica do pinhal bravo no Vale do Tâmega*, Tese de Doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real
- Gilks, W.R. *et al.*, 1996. *Markov Chain Monte Carlo in Practice*. Chapman and Hall.
- Kokkila, T. *et al.*, 2002. A method for generating stand structures using Gibbs marked point process. *Silva Fennica* 36(1), pp. 265-277
- Machado, D. P., 1944. A intensidade do crescimento da cortiça e melhoramento da sua qualidade nas sucessivas despelas. *Boletim da Junta Nacional da Cortiça*, 74.
- Natividade, J V., 1950. *Subericultura*. Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação. Direcção Geral das Florestas. 2ª Edição. Lisboa.
- Paulo, M.J. *et al.* (submetido para publicação). Comparison of three sampling methods in the characterization of cork oak stands for management purposes.
- Paulo, J.A. & Tomé, M., (em preparação). Equações para a predição de variáveis dendrométricas em sobreiros na idade juvenil.
- Pretzsch, H., 1997. Analysis and modelling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony. *Forest Ecology and Management* 97, pp. 237-253.
- Pukkala, T. & Kolstrom, T., 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. *Silva Fennica* 21, pp. 55-67.

- Ribeiro, F. & Tomé, M., 2000. *Equações para a estimação do peso de cortiça seca ao ar ao nível da árvore na região de Coruche*. Relatórios técnico-científicos do GIMREF, nº 2/2000. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Ribeiro, F. & M. Tomé, 2000. Classificação climática de Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, XXIII (2), pp. 39-50.
- Särkkä, A. & Tomppo, E., 1998. Modelling interactions between trees by means of field observations. *Forest Ecology and Management* 108, pp. 57-62.
- Soares, P., Tomé, M., Skovsgaard, J.P. & Vanclay, J.K., 1995. Evaluating a forest growth model for forest management using continuous forest inventory data, *For. Ecol. Management*. 71, pp. 251-265.
- Stoyan, D. & Penttinen, A., 2000. Recent applications of point process methods in forestry statistics. *Statistical Science* 15 (1), pp. 61-78.
- Tomé, M., (1989). *Modelação do crescimento da árvore individual em povoamentos de Eucalyptus globulus Labill. (1ª rotação) na Região Centro de Portugal, Tese de Doutoramento*. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Tomé, M. & Burkhart, H.E., 1989. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *Forest Science* 35, pp. 816-831.
- Tomé, M., Coelho, M. B., Almeida, A. & Lopes, F., 2001. *O modelo SUBER. Estrutura e equações utilizadas*. Relatórios técnico-científicos do GIMREF nº 2/2001. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal.
- Tomé, M., Coelho, M. B., Lopes, F. & Pereira, H., 1998. Modelo de produção para o montado de sobro em Portugal. In: H. Pereira (Ed), *Cork Oak and Cork, European conference on cork-oak and cork*, Lisboa, Portugal, pp. 22-46.
- Tomé, M., Coelho, M. B., Pereira, H. & Lopes, F., 1999. A management oriented growth and yield model for cork oak stands in Portugal. In: A. Amaro & M. Tomé (Eds), *Empirical and Process-Based Models for Forest Tree and Stand Growth Simulation*, Edições Salamandra, Novas Tecnologias, Lisboa, Portugal, pp. 271-289.
- Tomé, M. & Soares, P., 1997. A comparative evaluation of three growth models for eucalypt plantation management in coastal Portugal, in: Amaro, A., Tomé, M. (Eds.), *Empirical and process based models for forest tree and stand growth simulation*, pp. 517-533.
- Tomppo, E., 1986. *Models and methods for analysing spatial patterns of trees*. PhD Thesis. The Finnish Forest Research Institute, Helsinki, Finlândia.